

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

До захисту допущено

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_Л.Д. Писаренко

«\_\_» червня 2019 р.

## ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.050802 – Електронні пристрої та системи**

на тему « Дозиметри енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання »

**Виконав:**

Студент 3 курсу, гр. ДЕ-пб1

**Бондаренко Роман  
Іванович**

\_\_\_\_\_

**Керівник:**

Старший викладач ЕП та П, к.т.н.

**Семікіна Т.В.**

\_\_\_\_\_

Нормоконтроль:

Доцент кафедри ЕП та П, к.т.н.

**Чадюк В.О.**

\_\_\_\_\_

Рецензент:

Зав.відділом № 14,

ІФН ім.В.Лашкарьова НАНУ

к.ф.-м.н., с.н.с.

**Мамикін С.В.**

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ-2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.050802 –Електронні пристрої та системи (Електронні прилади та пристрої)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_Л.Д.Писаренко

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студенту

**Бондаренко Роману Івановичу**

**1. Тема роботи «Дозиметри енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання»**

і керівник роботи Семікіна Тетяна Вікторівна, ст.викл., к.т.н., с.н.с. .

затверджені наказом по університету від «\_\_\_»\_\_\_\_\_2019 р., № 1404-с

**2. Термін подання студентом роботи :** «\_\_\_» \_\_\_\_\_2019 р.

**3.Вихідні дані до роботи:** пристрій для вимірювання ультрафіолетового випромінювання в спектрі 200-520нм на основі матеріалу CdS.

.

**4.Зміст роботи:** аналіз датчиків ультрафіолету, аналіз існуючих пристроїв для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, розробка технічного завдання, структурної та принципової схем пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання на основі CdS.

**5. Перелік ілюстративного матеріалу:** Схема електрична принципова, креслення друкованої плати, плакати та висновки.

**6. Дата видачі завдання :** \_\_\_\_\_ р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по датчикам ультрафіолету	20.01.2019	
2	Аналіз існуючих схем підсилювачів	25.02.2019	
3	Аналіз датчиків та пристроїв для вимірювання ультрафіолетового випромінювання	10.03.2019	
4	Розробка функціональної, електричної принципової схеми підсилювача	20.04.2019	
5	Розробка друкованої плати підсилювача	30.05.2019	
6	Оформлення графічної частини, пояснювальної записки, плакатів, підготовка доповіді	15.06.2019	

Студент гр. ДЕ-пб1

Р.І.Бондаренко

Керівник роботи

Т.В.Семікіна

## РЕФЕРАТ

**«Дозиметри енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання / Бакалаврська робота напряму підготовки 6.050802 – «Електронні пристрої та системи» спеціалізації «Електронні прилади та пристрої». Бондаренко Роман Іванович. НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-пб1. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2019. – 70 с., іл. 30, табл. 6.**

**Ключові слова:** A2B6, дозиметр, CdS, пристрій для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, спектральний діапазон випромінювання, Splan, Sprint Layout.

**Короткий зміст роботи:** Дана дипломна робота присвячена дослідженню датчиків ультрафіолетового випромінювання, в ній представлено аналіз існуючих датчиків, розробка електричної принципової схеми та друкованої плати підсилювача.

У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність.

В 1 розділі проведено огляд фотодіодів для детектування ультрафіолетового випромінювання та показано основні вимоги до фотоприймачів та проведений аналіз існуючих датчиків (фотоприймачів) УФ випромінювання на основі таких матеріалів, як:

- кремнієві фотодіоди (Si) , які володіють підвищеною чутливістю в УФ області спектру та динамічним діапазоном не менше 6,5 порядків;
- фотодіоди на основі фосфіду галію (GaP), які призначені для вимірювання потоків УФ випромінювання з чутливістю, яка перевищує чутливість відомих аналогів та динамічним діапазоном не менше 7 порядків;

- фотодіоди на основі селеніду цинку (ZnSe), які призначені для вимірювання потоків УФ випромінення у всьому спектральному діапазоні з динамічним діапазоном не менше 7 порядків.

У 2 розділі проаналізовано сучасні модулі ультрафіолетового випромінення, які розроблені на основі існуючих сенсорів УФ.

На основі отриманих даних, проаналізовано переваги та недоліки цих модулів. Обґрунтовано необхідність у розробці схеми підсилювача, на основі якої можна буде розробити дозиметр енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінення на основі CdS, який буде технологічно та економічно вигідніший за існуючі аналоги.

У 3 розділі описана технологія отримання плівок напівпровідникової групи A2B6 та датчика УФ на основі CdS. Розроблено схему підсилювача в програмному середовищі Splan, та описано принцип дії цієї схеми, розраховано номінали елементів схеми. Показано розробку друкованої плати в програмному середовищі Sprint Layout, описано існуючі методи виготовлення друкованої плати. Підібрано та описано такі елементи дозиметра енергетичної освітленості ультрафіолетового опромінення, як: операційний підсилювач AD45048 та аналогово-цифровий перетворювач K1108PB1A, також показано технічні характеристики цих елементів.

## **АНОТАЦІЯ**

Дана дипломна робота присвячена дослідженню датчиків ультрафіолету, в ній представлено результати розробки електричної принципової схеми та друкованої плати підсилювача, інженерні розрахунки параметрів елементів схеми.

Робота складається із вступу, аналізу літератури, теоретичної частини, методики інженерних розрахунків та висновків. У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність. В аналізі літератури представлений огляд датчиків ультрафіолету, їх основні параметри та характеристики, та підтверджена перспективність їх розробки. В теоретичній частині приведені основні існуючі види датчиків та принципи їх роботи. В розділі інженерних розрахунків приведені методики та результати розрахунку параметрів елементів схеми.

## **S U M M A R Y**

This diploma project is devoted to the study of ultraviolet sensors, it presents the results of developing an electric circuit diagram and an acoustic circuit board, engineering calculations of the parameters of the elements of the circuit.

The work consists of introduction, analysis of literature, theoretical part, methods of engineering calculations and conclusions. The introduction formulated the main task of the work and shown its relevance. In the analysis of literature the review of ultraviolet sensors, their main parameters and characteristics is presented, and the prospect of their development is confirmed. In the theoretical part are given the basic existing types of sensors and the principles of their operation. In the section of engineering calculations the methods and results of calculation of parameters of elements of a scheme are resulted.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	12
<b>1.1. Фотодіоди для детектування УФ випромінення .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Кремнієві р-п фотодіоди для ближньої УФ області спектру .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Фотодіоди на основі фосфіду галію для дозиметрів УФ випромінення .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4. Ультрафіолетовий фотодіод на основі селеніду цинку .....</b>	<b>26</b>
<b>Висновки до розділу 1 .....</b>	<b>29</b>
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	30
<b>2.1. Датчик ультрафіолета на GUVА-S12SD .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2. Модуль датчику ультрафіолету .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3. WQScosea Q8S-45 цифровой ML8511 .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4. Датчик ультрафіолету на ML8511 .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5. Датчик освітленості ТЕМТ6000 .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6. Пристрої для вимірювання ультрафіолетового випромінювання .....</b>	<b>35</b>
<b>Висновки до розділу 2.....</b>	<b>36</b>
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ CdS.....	37
<b>3.1. Технологія отримання датчика УФ .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. Створення технічного завдання на дослідно-конструкторську розробку пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3 Розробка схеми підсилювача. ....</b>	<b>44</b>

					БР.171.061.002 ПЗ			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Бондаренко Р.І.			Дозиметри енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання	Лім.	Лист	Листів
Перевірів		Семікіна Т.В.					6	70
Реценз.		Мамикін С.В.				НТУУ	«КПІ	ім. І.
Н. Контр.		Чадюк В.О.				Сікорського»	ФЕЛ	ДЕ-п61
Затвердив		Писаренко Л.Д.						

<b>3.6 Розробка структурної блок-схеми дозиметра енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання .....</b>	<b>58</b>
<b>Висновки до розділу 3 .....</b>	<b>64</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>65</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>66</b>

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ГФ – головка фотометрична;

ГР – радіометрична головка;

ГС – гетероструктура;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

НТД – нормативно-технічна документація;

ОПЗ - область просторового заряду;

ППТН-1 – прецизійний перетворювач струм-напруга;

ПТН – перетворювач струм-напруга;

ППУСП – програмний пристрій управління спектральним приладом;

ОП – операційний підсилювач;

ТР – твердий розчин;

УФ-А – спектральний діапазон 400 - 315 нм;

УФ-В – спектральний діапазон 315 – 275 нм;

УФ-С – спектральний діапазон 275 - 180 нм;

УФ – ультрафіолетове (випромінення);

ФД – фотодіод;

ФП – фотоприймач;

ФЧЕ – фоточутливий елемент;

SOIC - Інтегральна схема малого типу.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Поширеність оптичних вимірювань у різних галузях науки, техніки, сільського господарства, медицини пов'язана з унікальними можливостями, оптичним процесом в широкому спектральному діапазоні. Точність і інтегровані спектральні енергетичні значення оптичного випромінювання важливі для моніторингу здоров'я та навколишнього середовища, інформатики, молекулярної біології, простору, фізики напівпровідників тощо [1].

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання все частіше використовується для знезараження води, для створення атмосфери з високим ступенем стерильності при експлуатації в цехах по виготовленню мікросхемних пристроїв. УФ-випромінювання служить каталізатором для ряду хімічних реакцій, що використовуються для запобігання різних захворювань. Особливо важливе в наш час вимірювання в УФ діапазоні озонного шару, забруднення повітря та інших екологічних рішень, зі стандартами охорони здоров'я, а також дотримання санітарних норм. Для вирішення цих проблем необхідні спеціальні УФ радіометри і дозиметри, відомі спектральні властивості в енергетичних одиницях, а також пов'язане з ними вимірювальне програмне забезпечення.

В останні десятиліття в усьому світі здійснюється моніторинг за спостереженням за спектром сонячної радіації в УФ діапазоні встановлених станцій, що досягають поверхні Землі. Крім того, поєднання сонячного УФ-випромінювання з шкідливим впливом на людину і екосистему в цілому, і суттєвий вплив на хімію атмосфери вимагає високоточних вимірювань в УФ-діапазоні.

Звернувши увагу на проект, що фінансується ЄС, для створення інструментів та методів вимірювання якості УФ випромінювання спектральних спектрів в Європі (QASUME). Мета полягає в забезпеченні гарантованої точності та надійності діапазону УФ-радіометра, що працює в Європі.

Важкі задачі енергетичної радіометрії і фотометрії приходять в ультрафіолетовий, видимий і інфрачервоний спектр.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сенс вимірювань світла визначається такою ж роллю, як і зір у житті людей. Підвищення точності вимірювального світла має значний економічний вплив, а це означає, що кількість електроенергії йде на освітлення. Так, згідно з аналізом, проведеним Міжнародним енергетичним агентством, споживання енергії для освітлення становить 19%. Специфіка вимірювання світла - це поступовий перехід від зберігання і розподілу світлових джерел світла до зберігання і розподілу за допомогою фотометра. Такий підхід обумовлений глобальними тенденціями в цій області, що потребує фотометри потенційно більших метрологічних властивостей у порівнянні з лампами.

Враховуючи очевидну важливість оптичних вимірювань, створення відповідних засобів і методів вимірювання є важливим завданням. Тому пристрій вимірювального приладу має бути найбільш доцільним з точки зору техніко-економічних аспектів. Тому побудова засобу необхідна для того, щоб закласти найбільш перспективні напрями, які б дозволили їй і зміцнити майбутній продукт. Зокрема, однією з найважливіших частин вимірювальних засобів (радіометр, фотометр), представляється приймачем.

З розвитком приймачів досягнуто прогресу в сучасній радіометрії та фотометрії. Тому дуже важливим є створення нових приймачів оптичного випромінювання, а також вдосконалення існуючих [1,2].

Метою цієї роботи є розробка та моделювання пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання.

На основі теми було встановлено такі завдання:

1. Дослідження УФ-датчиків.
2. Розробити електронний пристрій на основі УФ-датчика.
3. Розробити схему пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання з використанням УФ-сенсора на основі CdS.
4. Обчислити значення елементів схеми.
5. Розробка плати пристрою.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

#### 1.1. Фотодіоди для детектування УФ випромінювання

Якість і рівень вимірювальних приладів визначаються рівнем їх параметрів і метрологічними властивостями. В УФ-дозиметрах основними параметрами є діапазон спектральної чутливості та відтворення певної форми спектральних властивостей; надзвичайна чутливість; діапазон вимірюваної величини і максимальної чутливості в цьому діапазоні; стабільність протягом часу вимірювання; відносна похибка вимірювання.

Дозиметри ультрафіолетового випромінювання зазвичай складаються з серії фільтрів, які виділяють певний діапазон областей для вимірювання, первинний перетворювач або фотоприймач, який перетворює випромінювану енергію в електричний сигнал. Первинний перетворювач і ряд світлофільтрів разом утворюють радіометричну головку – один з важливих елементів УФ-дозиметра. Електричний сигнал, що генерується в радіометричній головці, передається в блок обробки сигналів і перетворює його в фізичну величину, наприклад енергію освітлення, вимірювану в ватах на квадратний метр.

При проектуванні дозиметрів УФ випромінювання необхідно враховувати наступні фактори, що впливають на метрологічні параметри приладу. А саме:

- відповідність первинного перетворювача (фотодіода) поставленій задачі - вимірювання певних властивостей УФ-випромінювання за певних умов;

- головка радіометра повинна бути максимально чутливою до вибраного діапазону довжин хвиль (наприклад, області А) і нечутливою за межами вибраного діапазону.

- коефіцієнт пропускання фільтра за межами вибраного спектрального діапазону не повинен перевищувати 0,1% (це призводить до фальсифікації результатів вимірювань при правильній довжині хвилі);

- враховувати невідповідність спектральних характеристик джерела випромінювання та головки радіометра, які необхідно враховувати при їх калібруванні;

- дозиметр в цілому повинен правильно вимірювати енергію УФ-випромінювання, що виробляється різними джерелами, працювати в інтерактивному режимі і попереджати користувача про неправильні дії.

Очевидно, що фотоприймач УФ-випромінювання є визначальним елементом конструкції УФ-дозиметра. Його властивості мають вирішальне значення для дозиметра в цілому.

Основними вимогами до такого фотоприймача є:

- висока чутливість в УФ-області спектру;
- низький рівень шуму;
- висока стабільність фотоелектричних параметрів приймача при опроміненні його діапазоном УФ-випромінювання;
- широкий динамічний діапазон чутливості та низька нелінійність енергетичних властивостей.

Значна також електронна схеми обробки фотосигналу, цифрової обробки аналогового сигналу, що генерується фотодіодом, дисплей безпосередньо пов'язаний з величиною, що вимірюється, здатністю працювати в різних кліматичних і виробничих умовах у відповідності з діючими нормативними документами. Крім того, простота використання дозиметра важлива для роботи з не підготовленим персоналом.

Як показано вище, різні фотодетектори можуть бути використані в якості УФ-датчиків. Оскільки фотоприймач використовується в дозиметрі, він повинен мати динамічний діапазон енергетичної освітленості, щонайменше,

$10^{-4} - 2 \cdot 10^2$  Вт / м<sup>2</sup> вимірювальної енергії, тобто трохи більше шести порядків, що є одним з основних вимог до фотоприймача, він повинен мати мінімальну нелінійність його енергетичних властивостей, точніше - не більше 1%. Загалом такі властивості мають - фотодіоди на основі кремнію, фосфіду галію та селеніду цинку.

Враховуючи те, що в ранніх дослідженнях в цей час є технологічно перевірені і надійні технології кремнієвих фотодіодів, початкові дослідження встановлюють ефективні УФ-випромінювання датчиків при створенні кремнієвих фотодіодів чутливих в ультрафіолетовому діапазоні спектру оптичного випромінювання [2].

## 1.2 Кремнієві р-п фотодіоди для ближньої УФ області спектру

Створення кремнієвого фотодіода з високою чутливістю в УФ-діапазоні спектра вимагає комплексного вирішення складних конструкцій і технічних проблем, пов'язаних з властивостями поглинання УФ-випромінювання в кремнії, генерації носіїв поглиненого випромінювання, рекомбінації на поверхні кристала і в його об'ємі, чутливість фотодіода залежить від фізичних обмежень, пов'язаних з вибором матеріалу для фотодіода і його конструкції. Для його збільшення необхідно зменшити відбиття падаючого оптичного випромінювання від поверхні кристала фотодіода і збільшити коефіцієнт збору заряду. Створення просвітлюючих покриттів як термічно вирощеного шару діоксиду кремнію на поверхні кристала ФЧЕ, зменшує відбиття від поверхні. Спеціально для довжини хвилі 0,2 мкм забезпечується мінімальне відображення при товщині просвітлюючого шару 0,07 мкм.

Розроблено групу кремнієвих фотодіодів р-п з високою чутливістю в УФ-області спектра. Схематичне зображення поперечного перерізу кристала одного з цих фотодіодів на основі n-типу провідності кремнію показано на малюнку 1.2.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Мала глибина перемикання р-п переходу фотодіода у "Квант" і "Квант-1" призводить до збільшення темнового струму. Для усунення цього недоліку на периметр поверхні виходу р-п-переходу (периметр ФЧЕ) глибина р-п-переходу збільшилася з 0,2 мкм до 1,5 мкм [2,3].

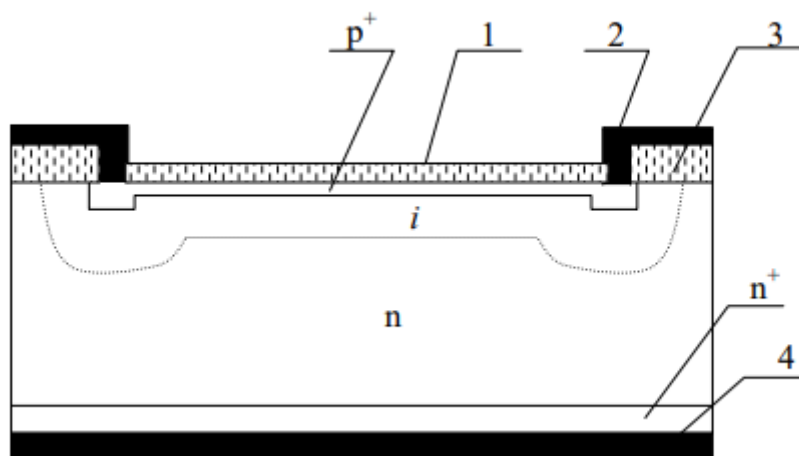


Рисунок 1.1. Схематичне зображення розрізу кристала УФФД на основі кремнію.

1 - просвітлююче покриття (двоокис кремнію);

2 - металевий контакт до фоточутливого елемента;

3 - захисне покриття (двоокис кремнію);

4 - металевий контакт до тильної сторони кристала;

n - базова область;

n<sup>+</sup> - область, легована фосфором;

p<sup>+</sup> - область, легована бором;

Легувавши зворотню сторону кристала фосфором (n<sup>+</sup>) і вибравши оптимальну контактну форму (кільце) дозволить збільшити динамічний діапазон фотодіода до 6,5 порядків (від рівня темних струмів). Досягнутий рівень параметрів і властивостей кращих зразків фотодіодів наведено в таблиці 1.1. Розширення спектральної чутливості фотодіода "Квант" і "Квант-1" до 190

нм збільшення концентрації легованої бором р + області досягає  $6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  порівняно з  $(10^{16}-10^{18}) \text{ см}^{-3}$  ФД-288 і ФД 307

Таблиця 1.1 - Значення параметрів і характеристик кращих зразків розроблених кремнієвих фотодіодів

Тип ФД	A, мм <sup>2</sup>	$\lambda_p$ , нм	$S_{\lambda}$ , А/Вт	$I_T$ , нА (U = 10 мВ)	C, пФ (U = 0 В)	Примітки
ФД 288А	100	300	0,06	0,5	11300,0	1, 2
ФД 288Б	100	300	0,06	0,5	11300,0	1, 2, 3
ФД 288В	100	300	0,09	0,2	11300,0	1, 2
ФД 307	38	300	0,06	0,1	4700,0	4
ФД «Квант»	100	200	0,1	0,2	11300,0	1, 5
ФД «Квант-1»	100	200	0,1	0,5	1300,0	1, 5

Примітки.

1-герметичний металоскляний корпус;

2-лейкосапфірове вхідне вікно;

3-додається відносна спектральна характеристика чутливості конкретного фотодіода;

4-виконаний на ситаловій підкладці;

5-кварцове вхідне вікно.

Ступінь чутливості в УФ-спектрі фотодіодів "Квант" і "Квант-1" відповідає тим же фотодіодам компаній "Хамамацу" (Японія), EG & G (Канада), UDT (США). У той же час ціна вітчизняних фотодіодів значно нижча. У ФД 288 і ФД 307 чутливість в УФ-діапазоні може бути знижена, але не більше ніж на 30% протягом 12 років зберігання, що є типовим для фоточутливих кристалічних структур з р-п переходу. Це пояснюється



зміною заряду і можливим розширенням оксидного бар'єрного шару 1 і збільшенням рекомбінації поверхні, що збільшує стікання фотогенерованих носіїв заряду на поверхню. Щільність поверхневих станів розроблених фотодіодів становить  $(4 \cdot 10^{11} - 5 \cdot 10^{11}) \text{ см}^{-2}$ .

Досліджувані фотодіоди «Квант» і «Квант-1» показали надзвичайно високу стабільність цього приймача в УФ-діапазоні, включаючи після УФ-опромінення дейтерієву лампу з еквівалентною потужністю 1 МВт на протязі 5000 годин. Визначення тривалості роботи, зниження чутливості на 10% від початкової. Це відповідає 100 000 годин.

Відмінності ємності фотодіодів "Квант" і "Квант-1" обумовлені виробництвом кристалів на основі кремнію з різним питомим опором використанням: КЭФ7.5 - 7.5 Ом·см і KB12-600T - 600 Ом·см.

Швидкість фотодіода в УФ-діапазоні обмежена RC-компонентом і не є обмежувальним фактором в системах, де використовуються фотодіоди. Досліджувані фотодіоди можуть виявляти оптичне випромінювання в діапазоні від 190 до 1060 нм. Вони є найбільш ефективними в короткохвильовій видимій області спектру за рахунок високої чутливості фотодіодів в цій області. Типові відносні спектральні властивості чутливості розробленого фотодіода наведено на рис. 1.2.

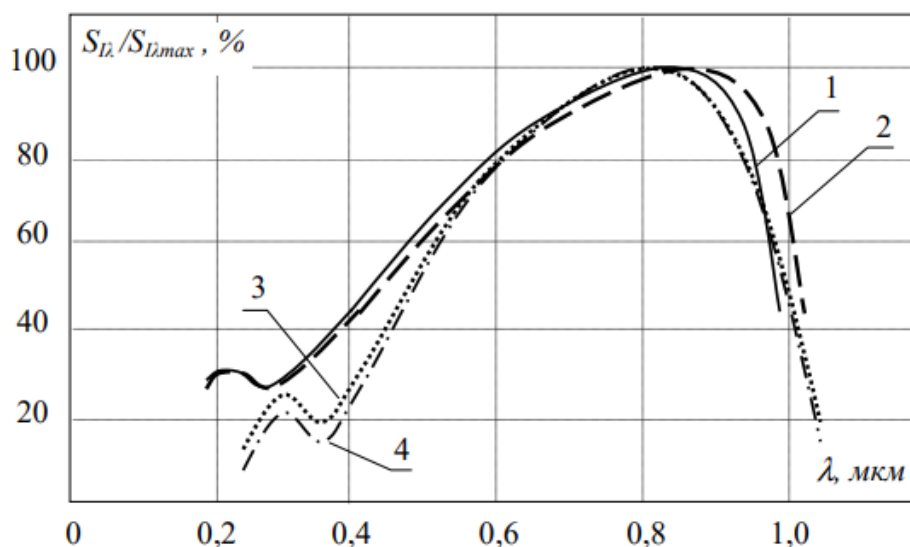


Рисунок 1.2. Відносні спектральні властивості чутливості кремнієвих УФ фотодіодів.

- 1 – «Квант»;
- 2 – «Квант-1»;
- 3 – ФД 288В;
- 4 – ФД 288А, Б.

Оптимальним способом активації фотодіодів при роботі в якості УФ-датчиків євляється фотогальванічний (без подачі напруги зміщення, що застосовується до р-п переходу). При необхідності можна використати фотодіодний спосіб активації.

Таким чином, досліджено серію кремнієвих фотодіодів, що чутливі в ультрафіолетовій області спектру оптичного випромінювання, які мають розширений діапазон спектральної чутливості в діапазоні короткохвильових монохроматичних струмів 190 нм, може мати підвищену монохроматичну чутливість в УФ спектрі. Час життя розроблених фотодіодів становить 100 000 годин. У цьому випадку чутливість в УФ-області спектра не зменшується більш ніж на 10% від первинної. Завдяки чутливості в УФ діапазоні спектр

розробленого фотодіода не поступається аналогам провідних світових виробників.

Подальші дослідження сконструйованих фотодіодів показали, що вони не придатні для використання в УФ дозиметрах, оскільки вони мають чутливість не тільки у видимому діапазоні оптичного випромінювання, але і в ближньому інфрачервоному діапазоні. Для дозиметра УФ, призначеного для оцінки роботи, як показано вище, визначальним фактором є забезпечення вимірювань енергетичного освітлення в певних строго вибраних областях - А, В, С. Дозиметр повинен мати оптичне випромінювання за межами вибраного спектрального діапазону менше 0,2%. Це означає, що світловий фільтр, який дозволяє присвоєння потрібної області спектру, повинен мати коефіцієнт пропускання оптичного випромінювання за межами обраного діапазону не більше 0,2%.

На жаль, фільтри не забезпечують сучасні оптичні системи з необхідним ступенем придушення оптичного випромінювання поблизу інфрачервоного спектрального зображення оптичного випромінювання (0,2%), що виникає при розробці кремнієвих фотодіодів (780-1060 нм).

Тому в майбутньому будуть проведені дослідження з виготовлення фотодіодів, які є оптично чутливими в ультрафіолетовій області спектру випромінювання на інших напівпровідникових матеріалах на основі, які не чутливі в ближній інфрачервоній області спектру і мають мінімальну чутливість діапазон УФ-А [2,4].

### **1.3 Фотодіоди на основі фосфіду галію для дозиметрів УФ випромінювання**

Фосфід галій є одним з провідних сполук напівпровідникової групи АЗВ5. Велика ширина забороненої смуги, висока твердість, мала здатність до хімічних реакцій поверхня кристала та наявність відпрацьованих процесів

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

роблять його перспективним матеріалом для оптико-електронних пристроїв УФ-спектру, роботи при високих температурах і мають високу стабільність та довговічність.

Корисною особливістю фосфіду галію є його майже повна прозорість до оптичного випромінювання з енергією до  $\sim 2,48$  еВ (близько 0,5 мкм). Поглинання GaP починається з 2,27 еВ (порядку 0,55 мкм), але, виконуючи непрямі переходи при цій квантовій енергії, вона мала і, таким чином, залишається до енергій порядку 2,7 еВ, сильна абсорбція починається лише тоді, коли  $h\nu > 2,7$  еВ. Оптичні параметри GaP показані на малюнку 1.3, де  $n$  - показник заломлення,  $K$  - коефіцієнт поглинання і  $R$  - коефіцієнт відбиття оптичного випромінювання від поверхні фосфіду галію. Матеріал має чіткий довгохвильовий край оптичного поглинання. У робочому діапазоні довжин хвиль майже повне поглинання оптичного випромінювання відбувається в товщині шару до 1,5 мкм. Зокрема, в шарі напівпровідникового матеріалу, що має товщину  $1/2\alpha$ , де  $\alpha$ -показник поглинання, поглинає до 86% випромінювання, що попало в цей шар.

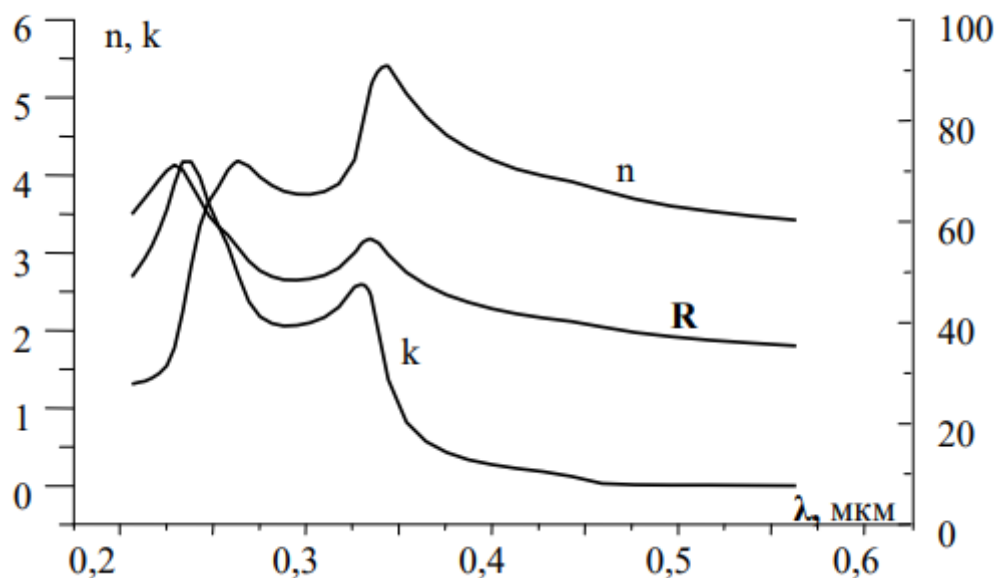


Рисунок 1.3. Оптичні постійні фосфіду галію

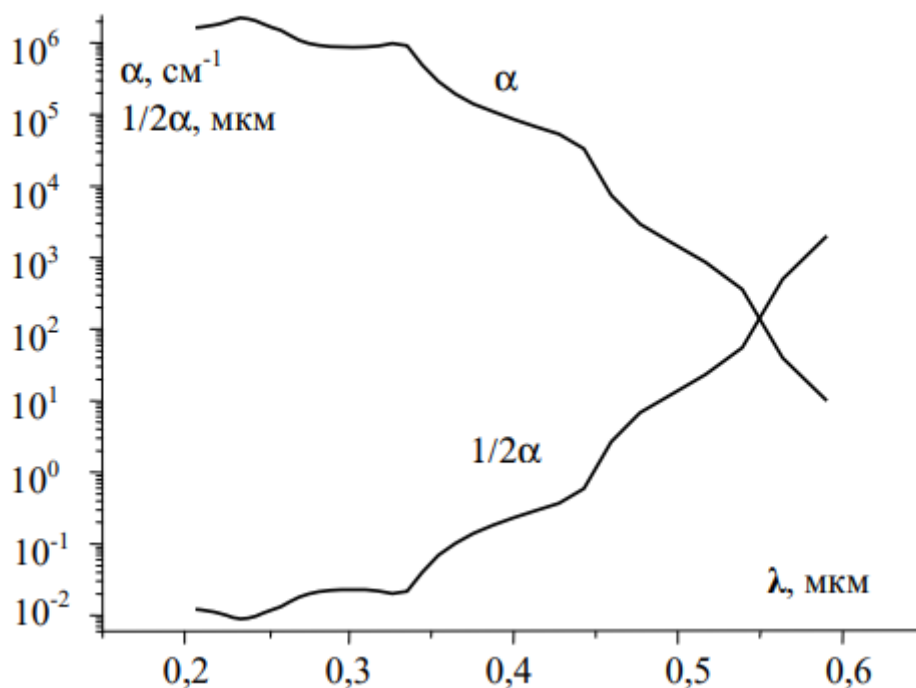


Рисунок 1.4. Спектральна залежність показника поглинання фосфіду галію.

Як і в згаданих фотодіодах, для виробництва промислових поверхневих структур створюється бар'єр для фосфіду галію n-типу, але на основі епітаксійних структур n-типу з концентрацією носія заряду в шарі  $\leq 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Монохроматична чутливість фотодіодів на довжині хвилі максимальної спектральної чутливості (430-440 нм) досягає 0,15 А/Вт при довжині хвилі 300 нм чутливості, що дорівнює 0,06 А / Вт[2,3,5].

Вище було показано, що напівпрозорі металеві шари не є ефективними в якості активного електрода. Тому аналізована розроблена робота з використання активного електрода для провідного шару оксидів металів .

З огляду на більш ранні фотодіоди отримані результати були розроблені на основі фосфіду галію УФД20 з площею ФЧЕ 49 мм<sup>2</sup> .

Фотоприймач епітаксіальної структури, що використовується для отримання n<sup>+</sup>-n типу провідності загальною товщиною 300-370 мкм. Орієнтація землі підкладки GaP, концентрація носіїв заряду в підкладці  $(1^{-4}) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Товщина епітаксійного шару n-типу не перевищує 15 мкм до концентрації в ньому носіїв заряду  $(0.9^{-2}) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

ФЧЕ виходить на основі поверхневої-бар'єрної структури напівпровідник-широкосмугового напівпровідника  $\text{SnO}_2$ . Шар  $\text{SnO}_2$  нагрівають до температури близько  $450^\circ \text{C}$  напівпровідникової пластини. Для плівки  $\text{SnO}_2$ , легованої фтором, спиртовий розчин хлориду олова застосовують з додаванням фтористого амонію. Омічні контакти створювали сплавом сплав  $\text{In-Ni}$  у вакуумі (або в атмосфері водню) при температурі близько  $600^\circ \text{C}$ . Щоб уникнути небажаного забруднення, пластини були нанесені на плоску поверхню лицьовою частиною. Перед нанесенням плівки  $\text{SnO}_2$  поверхню пластини обробляли бромом в диметилформаміді з наступним промиванням спиртом.

Контактний шар з діоксидом олова складається з нікелю, який наноситься термічним напиленням. Призначення фоточутливих елементів і контактних шарів здійснювали за стандартними методами фотолітографії. Провідники були з'єднані паяними проводами з припоєм міді до контактних шарів. При використанні ультразвукової сварки використовується варіант конструкції, де контактний шар металізації виглядає захисним шаром  $\text{SiO}_2$ [6].

Конструкція ФЧЕ фотодіода та його зовнішній вигляд представлені на малюнку 1.5. Фотодіод виконаний у прямокутному пластиковому корпусі з кварцовим вхідним вікном.

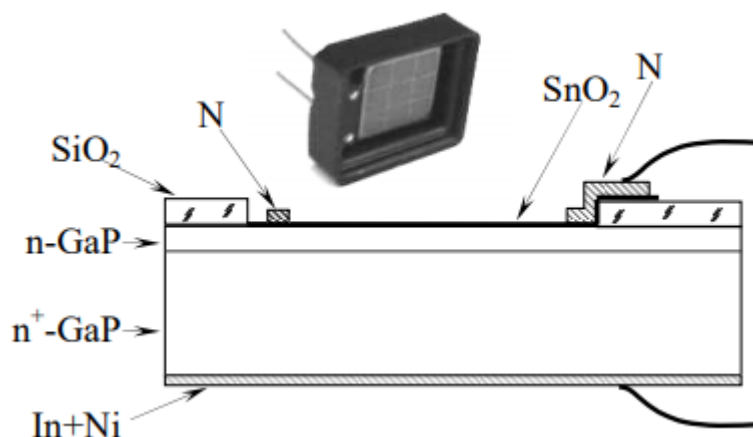


Рисунок 1.5. Конструкція фоточутливого елемента фотодіода та його зовнішній вигляд.

Максимальні значення чутливості забезпечуються при побудові фотодіода без вхідного вікна. Найбільш важливими фотоелектричними параметрами фотоприймача є:

- площа ФЧЕ - 49 см<sup>2</sup>;
- діапазон спектральної чутливості 220-450 нм;
- довжина хвилі максимальної спектральної характеристики - 430 нм;
- темний струм ФЧЕ (при  $U_p = 0,01$  В) - не більше  $10^{-10}$  А / мм<sup>2</sup>;
- монохроматична чутливість при  $\lambda = 430$  нм - не менше 0,20 А / Вт, при  $\lambda = 250$  нм - не менше 0,06 А / Вт;
- Нелінійність енергетичної характеристики в діапазоні ( $10^{-4}$  -  $2 \cdot 10^2$ ) Вт/ см<sup>2</sup> - не більше 1%.

Вивчення характеристик розробленого фотодіода виявило наступне.

На рисунку 1.6 показана залежність струму короткого замикання  $J_{кз}$  від холостого ходу  $U_{хх}$  ФЧЕ. Використовуваним джерелом випромінювання був напівпровідниковий діод з максимальним випромінюванням 470 нм. Цей же рисунок показує розрахункові значення щільності зворотного струму насичення  $J_o$  і коефіцієнта діода  $A$ .

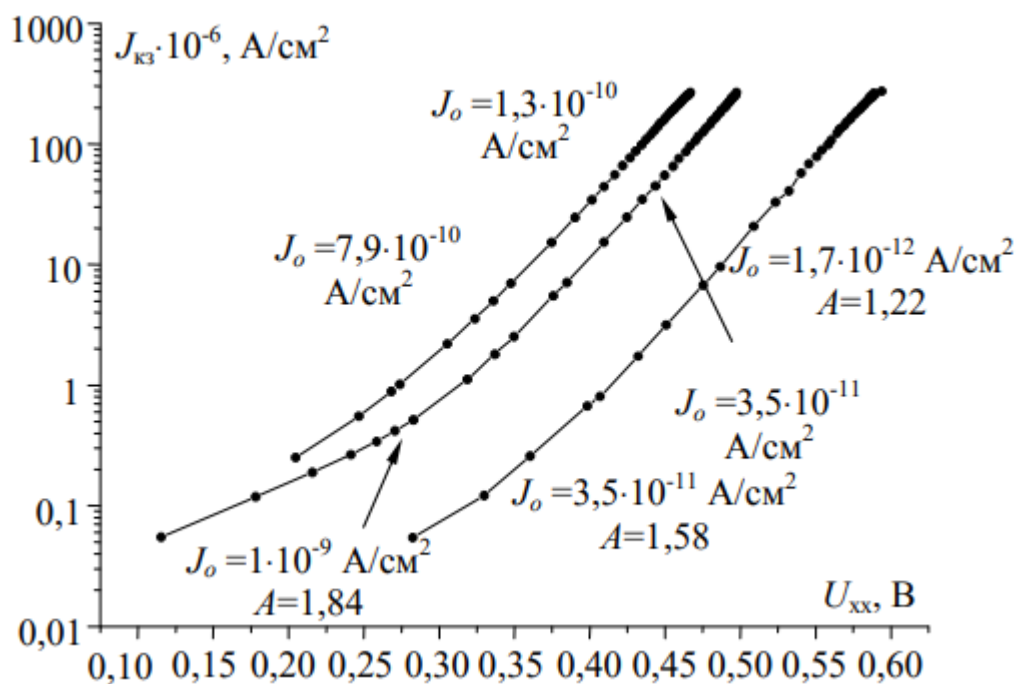


Рисунок 1.6. Світлова вольт-амперна характеристика ФЧЕ фотодіода.

У сформованих фоточутливих структурах зміна  $J_o$  і  $A$  спостерігається при зміні рівня опромінення. Зміна  $J_o$  і  $A$  пояснюється поглинанням світла станами поблизу границі перерізу в основній частині матеріалу в переході. Це також може впливати на наявність тонкого діелектричного шару, який може бути сформований ФЧЕ під час процесу виробництва.

На малюнку 1.7. Показана типова абсолютна спектральна характеристика чутливості ФЧЕ. Показана залежність чутливості від товщини наплавленого шару оксиду олова. Зокрема, криві 1 і 2 вказують спектральну чутливість фотодіода при наявності і відсутності освітлення при довжині хвилі 310 нм [7].



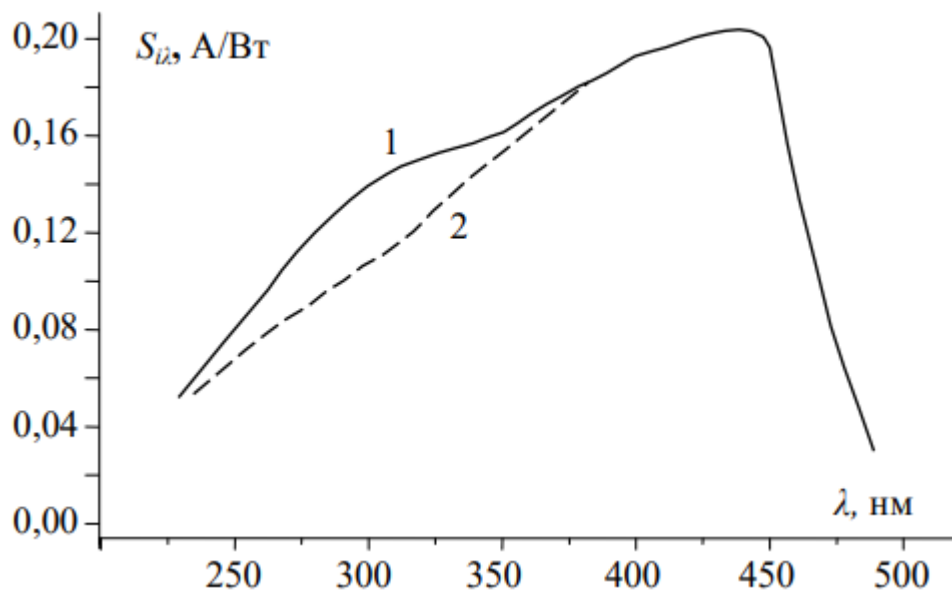


Рисунок 1.7. Абсолютна спектральна характеристика чутливості ФЧЕ фотодіоду на сонові фосфіду галію.

1 - спектральна характеристика з висвітленням при довжині хвилі 300 нм;

2 - спектральна характеристика без освітлення при довжині хвилі 300 нм.

Залежність практично не змінюється в діапазоні робочих напруг.

Оцінка технічного рівня розробленого фотодіода шляхом зіставлення його параметрів з параметрами відомих аналогів УФ-випромінювання та прямого аналогового визначення характеристик. Порівняльні властивості розробленого фотодіода і аналогів наведені в таблиці 1.2. У першому випадку фотодіод ФД 288В досліджувався на основі кремнію, фотодіода на основі селеніду цинку та фотоелементів селену. У другому випадку аналізовано фотодіод G1962 виробництва фірми Hamamatsu (Японія).

Дослідження спектральних властивостей виділених фотоприймачів проводили на комплексному спектральному типі КСВУ-23 у порівнянні з робочим стандартом (за чутливістю ФД288В фотодіод, сертифікований при довжині хвилі 440 нм). В якості джерела випромінювання використовуються відповідні смуги: в спектральному діапазоні від 200 до дейтерієвої лампи 400 нм типу БДС-30; в спектральному діапазоні від 400 до 1200 нм - пальник лампи

КГМ24-150. Використовувався прецезійний перетворювач «струм-напруга» «ППТН-03».

У ході дослідження було визначено нестабільність чутливості розроблених фотодіодів протягом 8 годин безперервної роботи при максимальному енергетичному опроміненні УФ-випромінюванням (до 100 Вт/м<sup>2</sup>).

Оцінка показала, що досліджений УФД20 фотодіод не поступається передбачуваним аналогам і перевищує величину монохроматичної чутливості статичного струму.

Після аналізу результатів досліджень можна зробити висновок, що фотодіоди на основі фосфіду галію мають достатній рівень фотоелектричних параметрів для використання в УФ дозиметрах. Слід зазначити, що головною перевагою досліджуваних фотодіодів є висока тимчасова стабільність монохроматичної чутливості порівняно з кремнієвими фотодіодами. У цьому випадку динамічний діапазон розробленого фотодіода за два-три порядки перевищує динамічний діапазон серійного фотодіода на основі селеніду цинку і фотоелемента селену. Ці параметри мають вирішальне значення для розробки вимірювальних і зокрема опорних пристроїв [2,5].

#### **1.4. Ультрафіолетовий фотодіод на основі селеніду цинку**

Основним недоліком фотодіодів на фосфіду галію з бар'єрною плівковою є обмежена чутливість в короткому хвильовому діапазоні УФ-випромінювання, а саме фотодіод, з короткохвильовою границею, яка починається при 220 нм. У той же час гігієнічні норми вимагають вимірювання енергії, що генерується УФ-джерелами, починаючи з 200 нм. З цієї причини досліджувались розробки фотодіода на основі селеніду цинку з поліпшеними спектральними властивостями. При розробці пристроїв визнано, що наявність чутливості фотодіода за межами діапазону спектру, відсутність енергетичних лінійних

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

властивостей в робочому діапазоні високоенергетичного світла і температурної нестабільності можуть призвести до спотворення вимірювань енергетичного освітлення УФ-випромінювання. На кристалі ZnSe n-типу провідності, легованої телуrom або киснем, товщиною 1 мм (1), напівпрозорий шар нікелю (2) розташований товщиною менше 10 нм, що утворює бар'єр Шотткі і, принаймні, 70 % випромінювання при довжині хвилі 400 нм утворюється на периферії кристала товще бар'єру, нікелевий контактний шар (3) товщиною не менше 0,2 мм (2). Нікелевий електрод відхиляється від кінців кристалічного селеніду цинку на відстані не менше дифузійної довжини неосновних носіїв і товщини ОПЗ. У нашому випадку ця відстань становила від 10 до 50 мкм. Мінімальне значення цієї відстані визначається об'ємним питомим опором матеріалу основи, а максимальне значення визначається технологічними та економічними міркуваннями. Загальний нижній щільний контакт з індієм (4) знаходиться на зворотному боці кристала селеніду цинку. Оскільки сигнал фотовідгука датчика поглинання випромінювання є цілим числом, властивості і параметри залежать від структура виявлення, що використовується на напівпровідниковому матеріалі, основною проблемою в комп'ютерній обробці прийнятих сигналів є відповідний діапазон спектральної чутливості фотоелектричних і емісійних спектрів. різних джерел електромагнітних хвиль. Регулювання цих властивостей є необхідною умовою для забезпечення точності та точності вимірювання електромагнітного випромінювання [2,8,9].

Невизначеність визначає фактичну поглинену дозу та / або інтенсивність ультрафіолетового випромінювання, що, по суті, базується на первинних перетворювачів на структурах  $n^- n^+$  регулювання розриву і ZnSe (Ni) шляхом відновлення реального спектрального складу випромінювання за допомогою методів Фур'є аналізу властивості джерела і детектора. Збільшення точності вимірювань досягається модулем самокалібрування апаратного програмного забезпечення вимірювальної системи.

Таблиця 1.2 - Параметри досліджуваних фотоприймачів

Найменування параметра	Позначення	ФД288В (Si)	УФД20 (GaP)	ФД (ZnSe)	G1962 (GaP)	Фотоелемент (Se)	ФД-УФ1 (GaP)	ФПД-1 (CdS)
Область спектральної чутливості, нм	$\Delta\lambda$	200–1100 ( $\lambda_{\max}$ = 800)	220–480 ( $\lambda_{\max}$ = 440)	200–480 ( $\lambda_{\max}$ = 390)	200–480 ( $\lambda_{\max}$ = 440)	250–760 ( $\lambda_{\max}$ = 550)	200–450 ( $\lambda_{\max}$ = 370)	200–520 ( $\lambda_{\max}$ = 480)
Темновий струм, не більше ( $U_p = 10$ мВ), А	$I_T$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-12}$	-	$1 \cdot 10^{-10}$	-
Монохроматична чутливість ( $\lambda = 400$ нм), не менше, А/Вт	$S_{\lambda}$	0,18	0,20	0,11	0,12	0,09	0,11	0,2
Динамічний діапазон, рази(при нелинійності енергетичної характеристики $\delta$ $\epsilon = \pm 1\%$ )	d	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^7$	
Нестабільність чутливості, %	$\delta$	0,5	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	
Площа ФЧЕ, мм²	$A_{ФЧЕ}$	100	50	25	5,2	200	10,0	25

## Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз фотодіодів для виявлення УФ-випромінювання. Проведено аналіз вимог до них та інших компонентів схеми дозиметра..

2. Вивчено фізичні та інженерні особливості первинних перетворювачів на основі кремнію, які проявляють високу чутливість в УФ-області спектру (до 0,1 А/Вт при довжині хвилі 200 нм) і динамічний діапазон не менше 6,5 порядків,

3. На основі комплексного, фізичного та технологічного підходу досліджено, обґрунтовано науково-технологічні засади щодо розробок первинних перетворювачів, призначених для вимірювання потоків УФ випромінювання на основі фосфіду галію з чутливістю, яка перевищує чутливість відомих аналогів (не менше 0,2 А/Вт на довжині хвилі 400 нм) та динамічним діапазоном не менше семи порядків.

4. На основі комплексного, фізико-технологічного підходу досліджено, обґрунтовано науково-технологічні засади щодо розробки первинних перетворювачів, призначених для вимірювання потоків УФ випромінювання у всьому спектральному діапазоні на основі селеніду цинку з динамічним діапазоном не менше семи порядків.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

#### 2.1. Датчик ультрафіолета на GUVА-S12SD

GUVA – S12SD – Модуль датчика ультрафіолету на GUVА-S12SD ідеально підходить для конструкцій вимірюючих рівень ультрафіолетового випромінювання. Лінійна залежність датчика вимірювання дозволяє обійтись без перетворювань, знижуючи швидкість і точність вимірювання. Модуль зображений на рисунку 2.1. Цей модуль виявлення УФ використовує фотодіод Schottky на основі GaN з високою чуйністю і низьким темним струмом. На борту LM358 підсилювач підсилює слабкий сигнал від фотодіоду на виході.



Рисунок 2.1 – Датчик ультрафіолету на GUVА-S12SD

Основні характеристики приладу:

1. Тип датчика: фотодіод на основі GaN.
2. Область спектральної чутливості, нм: 240-370.
3. Темновий струм (при  $V_R=0.1V$ ), нА: 1.
4. Робоча напруга : 5 В

## 2.2. Модуль датчика ультрафіолету

Модуль датчика ультрафіолету на фотодіоді GUVA-S12SD з піком чутливості в діапазоні випромінювання 240-370нм (UVB і велика частина UVA) ідеально підходить для конструкцій, що вимірюють рівень ультрафіолетового випромінювання. Робочий струм фотодіода дуже малий - нА, тому, для підключення його до аналогового входу контролерів, потрібне застосування операційного підсилювача.

УФ світлодіоди, як правило, мають інший діапазон випромінювання

На рис. 2.2. зображено аналоговий датчик ультрафіолету на GUVA-S12SD

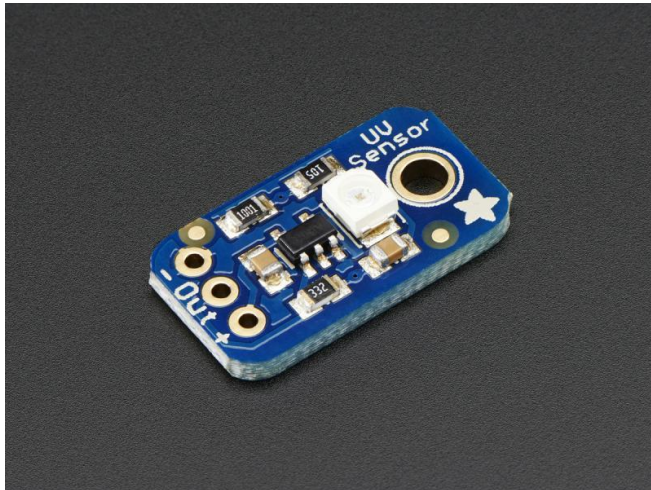


Рисунок 2.2– Датчик ультрафіолету на GUVA-S12SD

Основні характеристики приладу:

1. Тип датчика: фотодіод на основі GaN.
2. Область спектральної чутливості, нм: 240-370.
3. Темновий струм (при  $V_R=0.1V$ ), нА: 1
4. Робоча напруга : 2,5-5 В

### 2.3. WQScosea Q8S-45 цифровой ML8511

Цей датчик найефективніше виявляє світло 280-390 нм. Це стосується спектру UVB (більшість) і більшості спектра UVA (солярій).

Він виводить аналогову напругу, що є лінійно пов'язаним зі зміною інтенсивності УФ (МВт / см<sup>2</sup>). Якщо підключити мікроконтроллер можна зробити аналогове-цифрове перетворення сигналу, та виявити рівень УФ. Зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3. – WQScosea Q8S-45 цифровой ML8511

Основні характеристики приладу:

1. Тип датчика: фотодіод.
2. Область спектральної чутливості, нм: 280-390.
3. Темновий струм (при  $V_R=0.1V$ ), нА: 1.
4. Робоча напруга : 2.7-3.3 В



## 2.4. Датчик ультрафіолету на ML8511

Цей датчик найефективніше виявляє світло 290-390nm. Це відноситься до спектру UVB (палаючі промені) і більшості спектра UVA (солярій). Він виводить аналогову напругу, що є лінійно пов'язано з інтенсивністю УФ (МВт / см<sup>2</sup>). Якщо підключити мікроконтроллер можна зробити аналогове-цифрове перетворення сигналу, та виявити рівень УФ. На рис. 2.4. зображений датчик ультрафіолету на ML8511.



Рисунок 2.4. – Датчик ультрафіолету на ML8511

Основні характеристики приладу:

1. Тип датчика: фотодіод.
2. Область спектральної чутливості, нм: 290-390.
3. Темновий струм (при  $V_R=0.1V$ ), нА: 0.1-1.
4. Робоча напруга : 2.7-3.3 В

## 2.5. Датчик освітленості ТЕМТ6000

Датчик освітленості ТЕМТ6000 призначений для вимірювання освітленості з чутливістю наближеною до характеристик людського ока. Вихід датчика - аналоговий і підключається на аналоговий вхід контролера. Зображений на рис. 2.5.



Рисунок 2.5. – Датчик освітленості ТЕМТ6000

Основні характеристики приладу:

1. Тип матеріалу: фотодіод .
2. Область спектральної чутливості, нм: 360-970.
3. Темновий струм (при  $V_R=0.1V$ ), нА: 3-5.
4. Робоча напруга : 1.5-3.3 В

## 2.6. Пристрої для вимірювання ультрафіолетового випромінювання

Після дослідження та аналізу датчиків ультрафіолету (фотодіодів) на різних матеріалах, було проаналізовано декілька пристроїв (модулів) для вимірювання ультрафіолетового випромінювання на основі цих матеріалів.

Таблиця 2.1 - Пристрої для вимірювання ультрафіолетового випромінювання

Найменування датчика	Матеріал	Область спектральної чутливості, нм	Темновий струм, нА	Робоча напруга, В
Датчик ультрафіолета на GUVА-S12SD	GaN	240-370	1	5
Аналоговий датчик ультрафіолету на GUVА-S12SD	GaN	240-370	1	2,5-5
WQScosea Q8S-45 цифровою ML8511	-	280-390	1	2.7-3.3
Датчик ультрафіолету на ML8511	-	290-390	0.1-1	2.7-3.3
Датчик освітленості ТЕМТ6000	-	360-970	3-5	1.5-3.3

## Висновки до розділу 2

У розділі 2 проаналізовано сучасні та готові модулі ультрафіолетового випромінювання, які розроблені на основі фотодіодів та транзисторів.

Модулі з використанням фотодіодів на основі GaN, GaP, Si, ZnSe виготовляють за технологією на основі металоорганічних та плазмохімічних реакцій, які дуже дорогі та відсутні в Україні. В таких модулях чудові параметри, їх область чутливості спектру відповідає вимогам. Фотодіоди на основі Si відчувають весь спектр, тому потрібно використовувати допоміжні світлофільтри, які будуть відокремлювати не потрібний участок спектру. До того ж при використанні великої кількості фільтрів ми матимемо низький струм на виході, який практично не зможемо зафіксувати.

Тому потрібно розробити фотодіод на основі матеріалу CdS. Такий фотодіод можна розробити в Інституті фізики напівпровідників ім.В.Є.Лашкарьова, Україна. В Інституті є відповідна технологія, яка виграє по дешевизні у аналогічних технологій, хоча технологія не найкраща і має дефекти у вигляді ловушок зарядів, що призводить до низького струму, але цього струму буде достатньо.

Отже за допомогою цієї технології ми можемо отримати фотодіод:

- Вироблений в Україні;
- дешевший близько в 90 раз;
- матиме чудову чутливість;
- без використання світлофільтрів.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ CdS

#### 3.1. Технологія отримання датчика УФ

Був проведений процес виготовлення датчика ультрафіолету на основі CdS. Полікристалічні шари CdS товщиною 4–5 мкм вирощувались методом квазізамкненого об'єму на металізованих діелектричних пластинах і слугували орієнтуючими підкладками для подальшого епітаксійного росту гетероструктур (ГС). Концентрація основних носіїв струму – електронів визначалась із вимірів вольт-фарадних характеристик за стандартною методикою [10] і знаходилась в межах  $n = 10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Фізичні властивості сполук CdS в значній мірі визначаються вмістом власних точкових дефектів ґратки, які мають низьку енергію іонізації та виявляють високу електричну активність [11–13]. Регулюючи концентрацію власних дефектів ґратки шляхом зміни умов приготування кристалів, можна варіювати в широкому діапазоні концентрацію вільних носіїв в отриманих зразках CdS і одержувати достатньо високу концентрацію основних носіїв струму без додаткового легування сторонніми домішками. Складніша ситуація в разі використання твердих розчинів. Як показали наші дослідження при використанні твердих розчинів  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$  зі значеннями параметра твердого розчину  $x > 0,5$  (зі збільшеною частиною компонента Zn в складі ТР) доводиться мати технологічні труднощі, які характерні і для ZnS і ZnSe [14, 15] (і які не існують при  $x < 0,5$  для ТР  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ). Складність полягає в отриманні низькоомної плівки ТР і створенні до неї омичного контакту.

В нашій роботі зазначена проблема вирішується шляхом створення на полікристалічній текстурованій підкладці CdS багат шарової ГС з проміжними

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

варізонними шарами. Як показано в [14, 15], при вирощуванні варізоні шари на низькоомних підкладках CdS, точкові дефекти ґратки донорного типу в халькогеніді кадмію стимулюють утворення відповідних дефектів в наступних епітаксійних шарах. Проростання точкових дефектів з шару CdS через варізоні шари в фотоактивний шар призводить до формування  $Zn_xCd_{1-x}S$  з концентрацією  $n \geq 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , що є достатньою для ефективної роботи фотоперетворювача (ФП). Крім того, формування проміжного варізоні шари, як зазначалося вище, є необхідним для зниження структурних дефектів, пов'язаних з неузгодженістю

Постійних ґраток фотоактивного епітаксійного шару  $Zn_xCd_{1-x}S$  і матеріалу підкладки CdS. Таким чином, технологічний процес отримання ФП включав послідовне вирощування на CdS підкладках наступних шарів: варізоні шари, а саме  $Zn_xCd_{1-x}S$  (із збільшенням  $x$  в напрямку зростання) і фоточутливого шару TP  $Zn_xCd_{1-x}S$  зі складом, який задається ( $x = 0,6$  або  $x = 0,7$ ). Гетероструктури вирощувалися в єдиному технологічному циклі методом термічного випаровування з двох автономних джерел халькогенідів цинку і кадмію з наступною конденсацією на металізованій ситаловій підкладці в квазізамкненому об'ємі. Метод отримання варізоні шари відрізняється від відомих [11–13,16,17] і дозволяє отримувати варізоні шари для всього інтервалу значень  $x$  від нуля до одиниці. В нашому методі температура джерел CdS і ZnS регулюється незалежно, що дозволяє змінювати густину компонент біля підкладки і, відповідно, контролювати співвідношення Zn і Cd у варізоні шари. Параметр  $x$  в TP  $Zn_xCd_{1-x}S$  визначався шляхом вимірів ширини забороненої зони ( $E_g$ ) і параметрів кристалічної ґратки для конкретного TP. Враховувалась лінійна залежність  $E_g$  від компонентного складу TP, та закон Вегарда. В наших експериментах  $x$  визначався з точністю (3– 4)%. Елементний склад і його зміна по товщині конденсованих варізоні шари структур досліджувались методом електронної оже-спектроскопії за допомогою надвисоковакуумного оже-мікрозонда марки JAMP фірми JEOL.

Концентрація халькогена стала по товщині плівки, концентрація цинку зменшується, в той час, як концентрація кадмію зростає від поверхні в глибину плівки. Розподіл елементів свідчить про наявність в досліджуваних матеріалах плавного переходу від ТР з надлишком Zn до ТР з надлишком Cd [18].

Процес виготовлення фотоприймача поетапно.

Використовуємо кварцевий стакан з двома відростками, які потрібні для двох порошків і у нашому випадку CdS та ZnS. До стакану насипаємо CdS(1 гр.) та ZnS (0,5 гр.). Кварцевий стакан зображений на рис.3.1.



Рис.3.1. Кварцевий стакан з двома відростками

Нагрівач, на який намотаний молібденовий дріт, називають нагрівачем відростка. Ставимо екран. Є два екрани: маленький – для того, щоб порошок не вискакував із стакану, оскільки нагрів не однорідний, концентрація по об'єму різна – тому вміст здатний трохи «вибухати», і для захисту підкладки ставиться цей екран, та основний екран – слугує для того, щоб підігрівати пари, яка утворилися в результаті сублімації порошків. Екрани виготовляються з



молібдену. Ставимо 4 термопари для реєстрації (2 знизу на відростках, термопара камери та термопара ситалової пластини). Зображені на рис.3.2.



Рис.3.2. Вакуумне обладнання, екрани та термопара

В якості підкладинки ми використовуємо ситал (діелектрик), на який попередньо був нанесений прошарок молібдену, який виконує функцію струмоз'єдного контакту. Для створення певної геометрії плівки, що напильюється, ми використовуємо металеву маску в якій зроблено певний отвір, що відповідає потрібній геометрії. Зображена на рис.3.3.



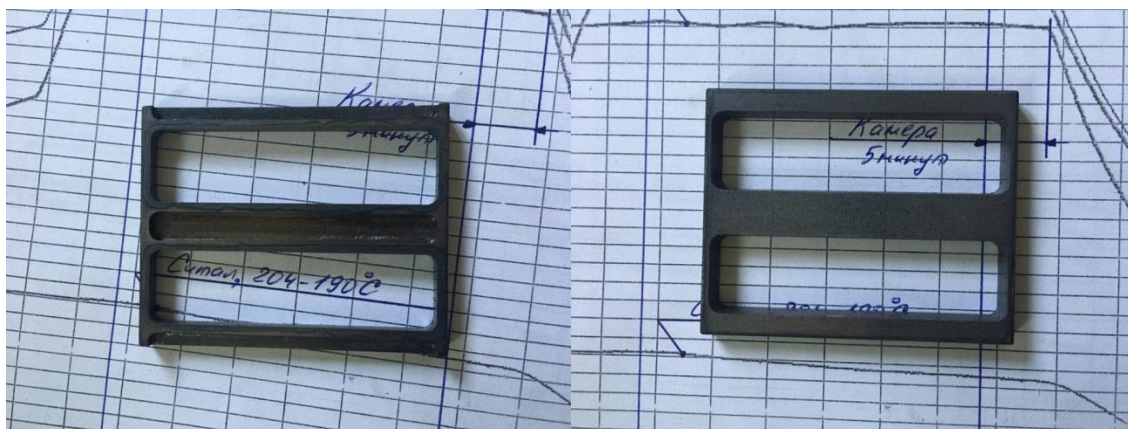


Рис.3.3.Металева маска

Після встановлення усіх елементів до камери, опускаємо вакуумний ковпак. Температура на CdS -780 ° С , а на ZnS – 900 ° С. Вмикаємо форвакуумний насос. Після 15-20 хвилин роботи форвакуумного насосу вмикаємо дифузійний насос для отримання відповідного рівня вакууму ( $10^{-4}$  мм.рт.ст). Вакуумне обладнання, ковпак зображенні на рис.3.4.



Рис.3.4.Вакуумне обладнання

Після отримання відповідного рівня вакууму вмикаємо нагрівачі. Спочатку випаровується порошок CdS, через 25 хвилин, вмикаємо нагрівач для ZnS і при досягненні температури 900 ° С, тримаємо цю температуру впродовж 10 хвилин, коли йде випаровування порошку ZnS.

Після наплення готовий екземпляр віддається на корпусування. Зображений на рисунку 3.5. Графіки на яких зображено температури випаровування та час представлені на рисунку 3.6.



Рис.3.5 Готовий екземпляр

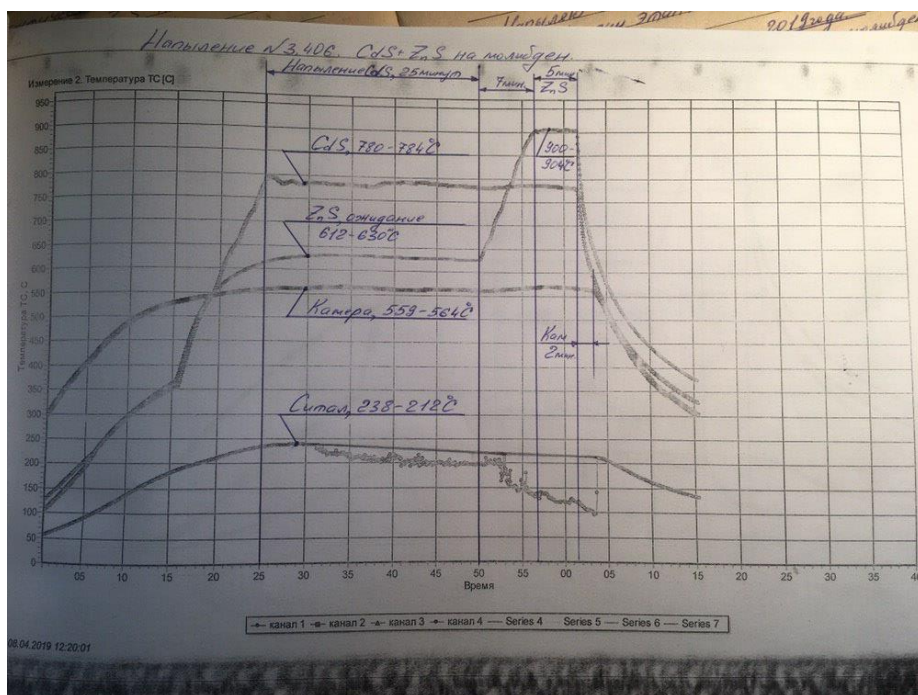


Рис.3.6 Температурний графік виготовлення плівки

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

БР.171.061.002 ПЗ

Лист

42

### **3.2. Створення технічного завдання на дослідно-конструкторську розробку пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання**

#### **1. Вхідні дані.**

Назва приладу: «Пристрій для вимірювання ультрафіолетового випромінювання».

#### **2. Призначення та область застосування.**

Датчики ультрафіолету потрібні для використання не тільки в таких традиційних областях їх застосування, як медицина, біологія, екологія, а і в нових, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні, вивчення сонця та атмосфери в світовому діапазоні 300–400 нм, вивчення атмосфери планет та екосфери Марса, для створення ультрафіолетового нітратного сенсора з метою створення мапи забруднення океанів, для аерозольного флуоресцентного сенсора, котрий виявляє біологічні частинки, присутні в повітрі, та інше.

#### **3. Цілі.**

Отримати один екземпляр схеми пристрою для вимірювання ультрафіолету.

Аналоги.

- Датчик ультрафіолету на GUVA-S12SD;
- Датчик ультрафіолету на GUVA-S12SD;
- WQScosea Q8S-45 цифровой ML8511;
- Датчик ультрафиолета на ML8511;
- Датчик освітленості TEMT6000.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Технічні характеристики.

У табл. 3.1 представлені технічні характеристики розробленого приладу для вимірювання ультрафіолету.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики розробленого датчика ультрафіолету.

Тип датчика	Фотодіод
Матеріал датчика	CdS
Область спектральної чутливості , нм	200-520
Положення максимуму чутливості, нм	480
Монохроматична чутливість ( $\lambda=400\text{нм}$ ), не менше, А/Вт	0,2
Площа ФЧЕ , мм <sup>2</sup>	25

### 3.3 Розробка схеми підсилювача.

Для розробки схеми підсилювача було проаналізовано аналог схеми UV Sensor V2 на основі GUVA-S12SD. На рис. 3.7 представлено аналог схеми підсилювача UV Sensor V2.

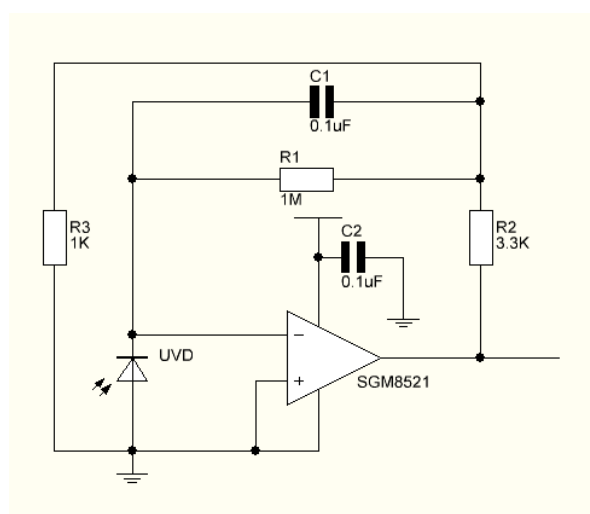


Рисунок 3.7 Аналог схеми підсилювача UV Sensor V2

Проаналізовано переваги та недоліки схеми з фотоприймачем GUVAS12SD та операційним підсилювачем SGM8521.

Переваги:

- однополюсне живлення

Недоліки схеми:

- використаний операційний підсилювач SGM8521, в даний час він не виготовляється.

- не передбачений вимір різних напруг

- ідеальний операційний підсилювач ( працює лише на лінійному участку характеристики). Зображено на рис.3.8.

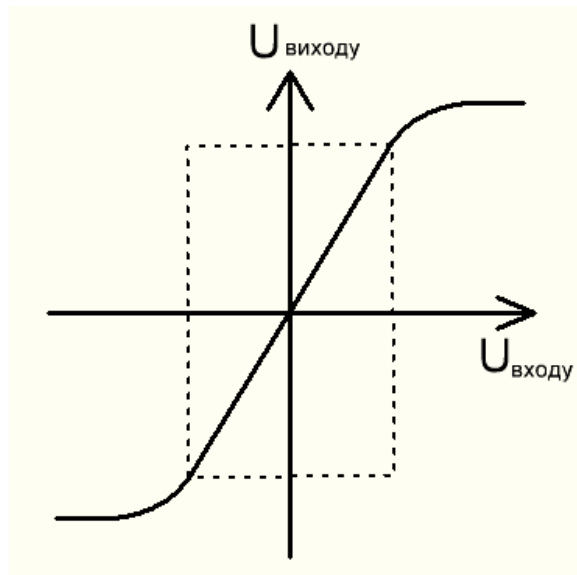


Рис.3.8 Відношення  $U_{\text{вих}}$  до  $U_{\text{вх}}$  (пунктиром позначений лінійний участок характеристики)

Також було проаналізовану класичну схему підсилювача вхідного сигналу, переваги та недоліки цієї схеми. Класичну схему підсилювача представлено на рис. 3.9.

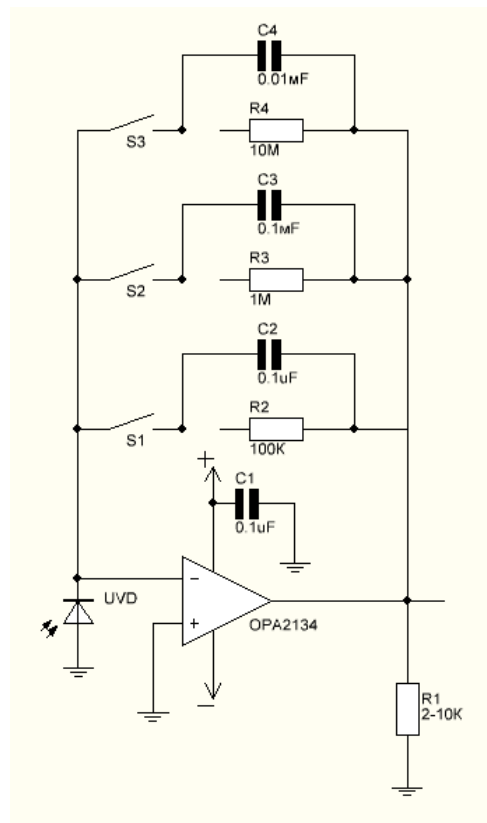


Рис.3.9 Класична схема підсилювача

#### Переваги:

- передбачено вимірювання різних напруг;
- не ідеальний операційний підсилювач (працює як в лінійному участку характеристики , так і не в лінійному);
- живлення 15В, тому робоча напруга буде 10В.

#### Недоліки:

- двополюсне живлення;
- велика різниця потенціалів між входом і виходом.

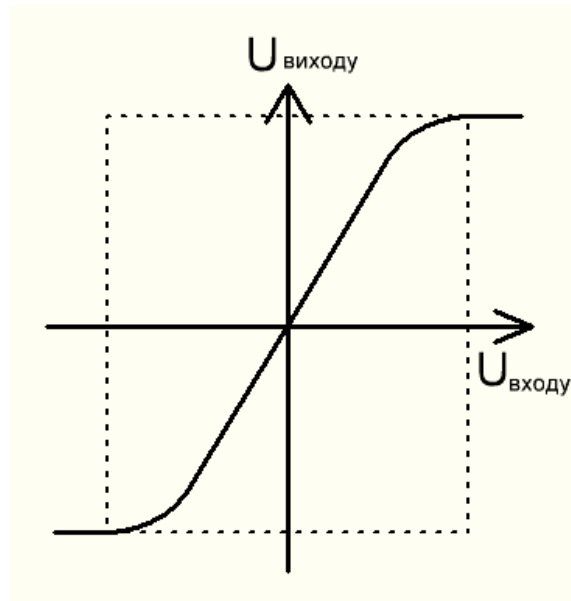


Рис.3.10 Відношення  $U_{\text{вих}}$  до  $U_{\text{вх}}$  (пунктиром позначений лінійний та нелінійний учасок характеристики)

Відповідно до завдання дипломного проекту повинна міститися така конструкторська документація:

- 1) схема електрична принципова з переліком елементів;
- 2) креслення друкованої плати.

Схема електрична принципова – графічний конструкторський документ, який відображає всі основні частини виробу електротехнічного призначення і зв'язки між ними, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу.

Схема електрична принципова (рисунок 3.12) та перелік елементів розробленого пристрою для вимірювання УФ міститься у додатку А.

Конструкторську документацію необхідну для виготовлення стенду виконуємо за допомогою програм Splan та Sprint–Layout.

Аналізуючи класичну схему та аналог схеми пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, в програмному середовищі Splan 7.0. була розроблена схема, яка матиме переваги обох схем:

- однополюсне живлення ;
- меншу різницю потенціалів між входом і виходом ;
- передбачене вимірювання різних напруг ;
- неідеальний операційний підсилювач;

та менше недоліків.

Програмне середовище Splan – простий і зручний інструмент для креслення електронних і електричних схем, дозволяє легко переносити стандартні позначення електро-радіо елементів (ЕРЕ) та символи з бібліотеки елементів на схему і прив'язувати їх до координатної сітки (рис.3.11.)

У Splan є багато інструментів для креслення і редагування, які роблять розробку схем зручною і ефективною, такі як автонумерація елементів, складання переліку елементів та інші.

Бібліотека відмінно організована, елементи розділені на відповідні групи, для вставки елементу схеми з бібліотеки, досить просто його перетягнути на лист. Є можливість зробити власну бібліотеку елементів, якщо потрібного елементу раптом не виявилось.



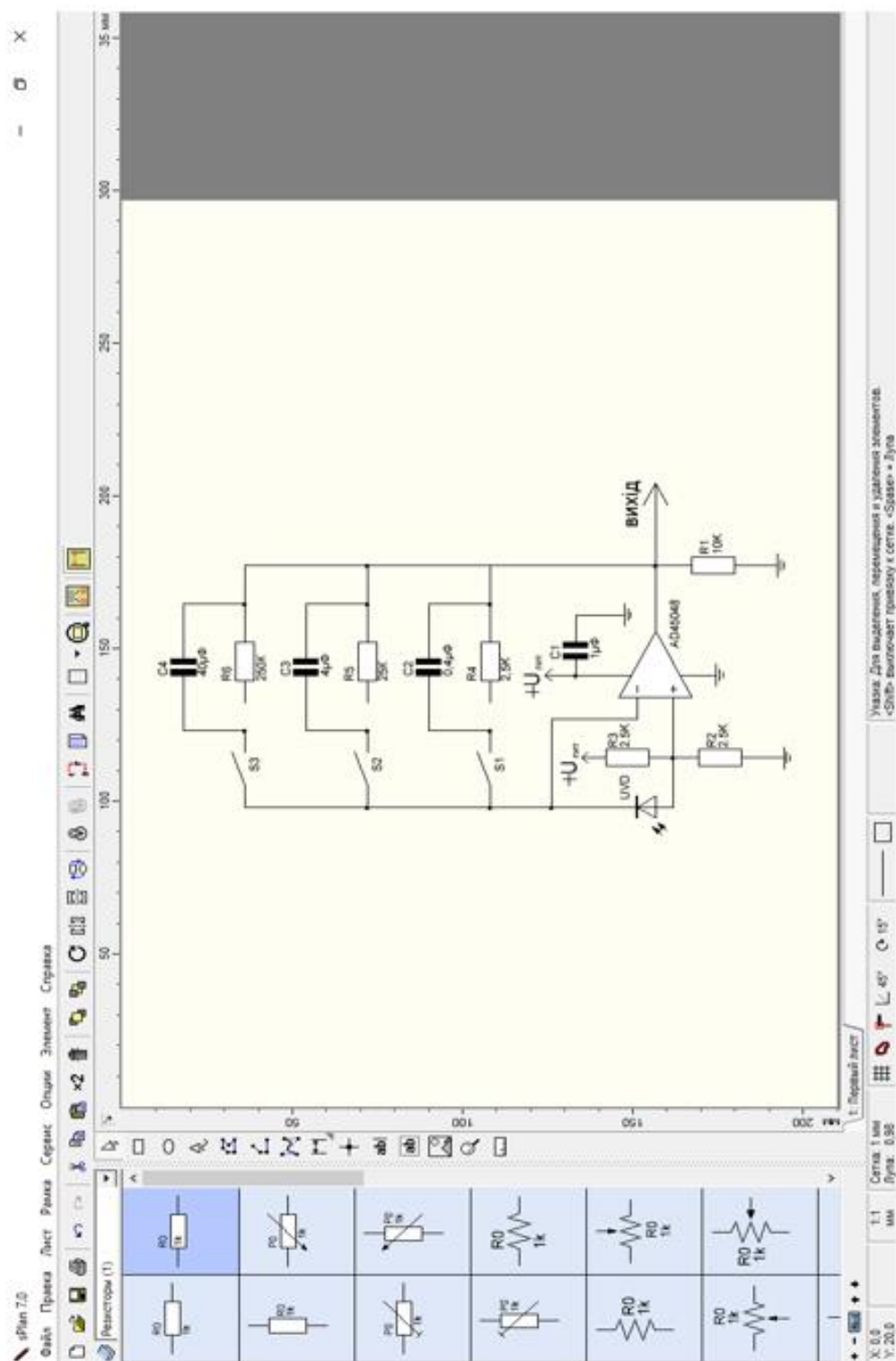


Рис.3.1.1 Видгляд головного вікна програмного забезпечення

На рис.3.12 представлена заключна розроблена схема підсилювача

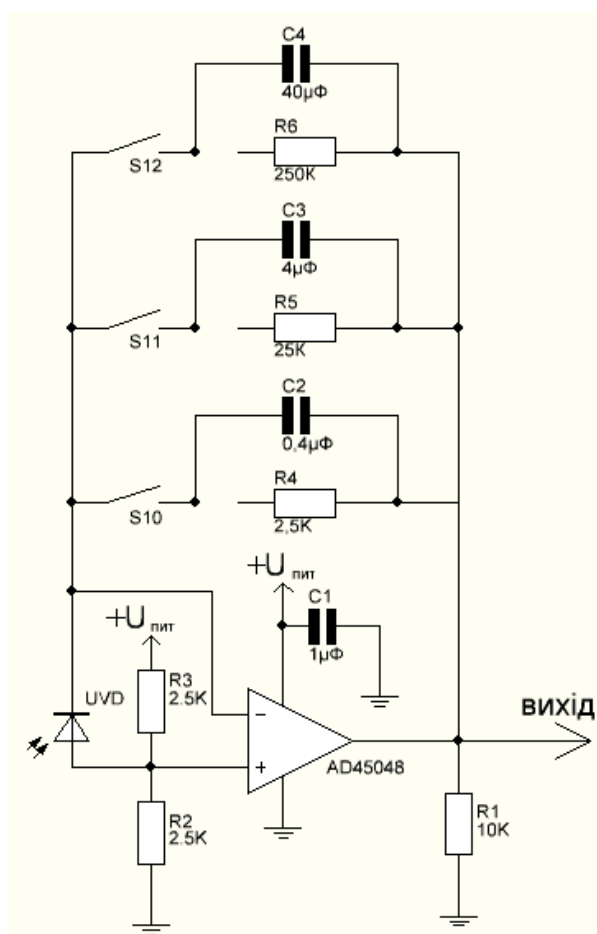


Рис.3.12 Заключна розроблена схема підсилювача

### 3.4 Принцип роботи пристрою для вимірювання УФ та розрахунок номіналів елементів схеми

Для отримання вимірювань потужності ультрафіолету потрібно зі схеми знімати напругу, так як ми використовуємо фотодіод, який має струмовий вихід, необхідно використати підсилювач на основі перетворювача „струм-напруга,.. Зображений на рис.3.13.

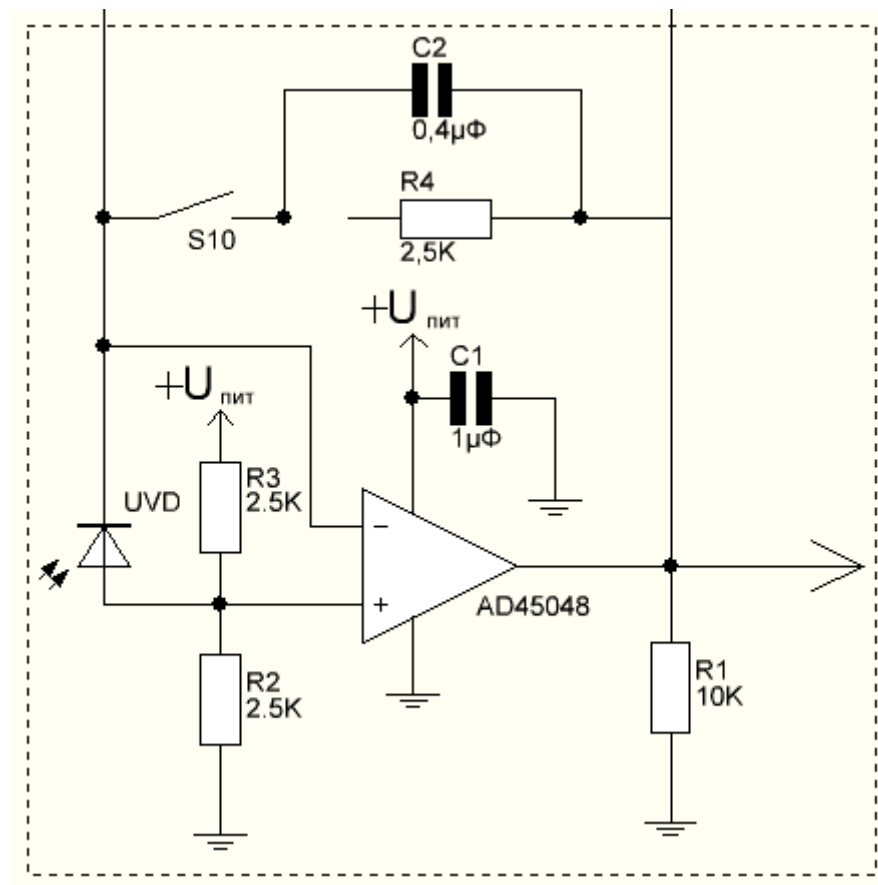


Рис.3.13 Перетворювач „струм-напруга,,

Схему перетворювача „струм-напруга,, являє собою: Операційний підсилювач(ОП), резистор R4 та резистор R2 з неінвертуючого (+) входу ОП на землю, схема залишається робочою і без резистора R2, тоді неінвертуючий вхід ОП подається на землю, проте маючи резистор 2.5кОм в колі зворотнього зв'язку, на кожен 1мкА вхідного струму на виході буде створений 1В напруги. При такому коефіцієнті підсилення резистор потрібен із-за неідеальності операційного підсилювача.

В якості діода UVD використано діод Шотткі з низьким значенням падіння прямої напруги, та дуже швидким перемиканням на основі CdS. Діод відіграє роль генератора струму, режим генерації струму підтримується краще, коли різниця потенціалів між входом і виходом менша.

Конденсатор C1 працює як фільтр, потрібен щоб зменшити шуми на виході схеми. Розраховується за формулою :

$$C_1 = \tau / R = \frac{0.1 \text{сек}}{100 \cdot 10^3} = 10^{-6} \text{Ф} = 1 \text{мФ} \quad (1);$$

[ $\tau$ ]-час встановлення напруги на виході

Резистор  $R_1 = 10 \text{кОм}$  потрібен за технічними вимогами до оперірного підсилювача. В даній схемі використовується найпростіший резистивний дільник напруги, який являє собою два послідовно включених резистора підключених до джерела напруги. Оскільки резистори з'єднані послідовно, то струм через них буде однаковий відповідно до першого правила Кірхгофа. Падіння напруги на кожному резисторі відповідно до закону Ома буде пропорційно опору. За допомогою резистивного дільника напруги в колі зворотного зв'язку задається коефіцієнт посилення каскаду на ОП. Живлення операційного підсилювача  $\pm 5\text{В}$ , тому потрібні резистори  $R_2; R_3$  як дільники напруги, які матимуть номінали  $2,5 \text{кОм}$ .

$$R = R_2 + R_3 \rightarrow R = \frac{5}{1} = 5 \text{кОм} \rightarrow R_2 = R_3 = 2,5 \text{кОм} \quad (2);$$

Передбачено підключення декількох резисторів  $R_4; R_5; R_6$  для вимірювання різних напруг, щоб подавити високочастотні шуми паралельно підключаємо плівкові конденсатори  $C_2; C_3; C_4$  невеликої ємності (він має перевагу над звичайним електричним конденсатором, так як він є більш бистродіючим).

Резистори  $R_4, R_5, R_6$  розраховувався за формулою:

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$U = R \cdot I_{\Phi} \rightarrow R_4 = \frac{U}{I_{\Phi}} = \frac{2,5}{1} = 2,5\text{кОм} \quad (3);$$

$$R_5 = \frac{2,5}{0,1} = 25\text{кОм} \quad (4);$$

$$R_6 = \frac{2,5}{0,01} = 250\text{кОм} \quad (5);$$

Конденсатори C2;C3;C4 підключені паралельно до резисторів R4,R5,R6 розраховувались за формулою:

$$C_2 = \frac{0,1\text{мА}}{2,5 \cdot 10^3 \text{Ом}} = 4^{-5} \Phi = 0,4\mu\Phi \quad (6);$$

$$C_3 = \frac{0,1\text{мА}}{25 \cdot 10^3 \text{Ом}} = 4^{-6} \Phi = 4\mu\Phi \quad (7);$$

$$C_4 = \frac{0,1\text{мА}}{250 \cdot 10^3 \text{Ом}} = 4^{-7} \Phi = 40 \mu\Phi \quad (8);$$

### 3.5 Розробка друкованої плати в програмному середовищі Sprint–Layout

При розробці друкованої плати використовуємо програму Sprint–Layout.

Sprint-Layout - це просте і дуже зручне програмне забезпечення для розробки одно- та двосторонніх друкованих плат, розміри яких не перевищують 300×300 мм [19].

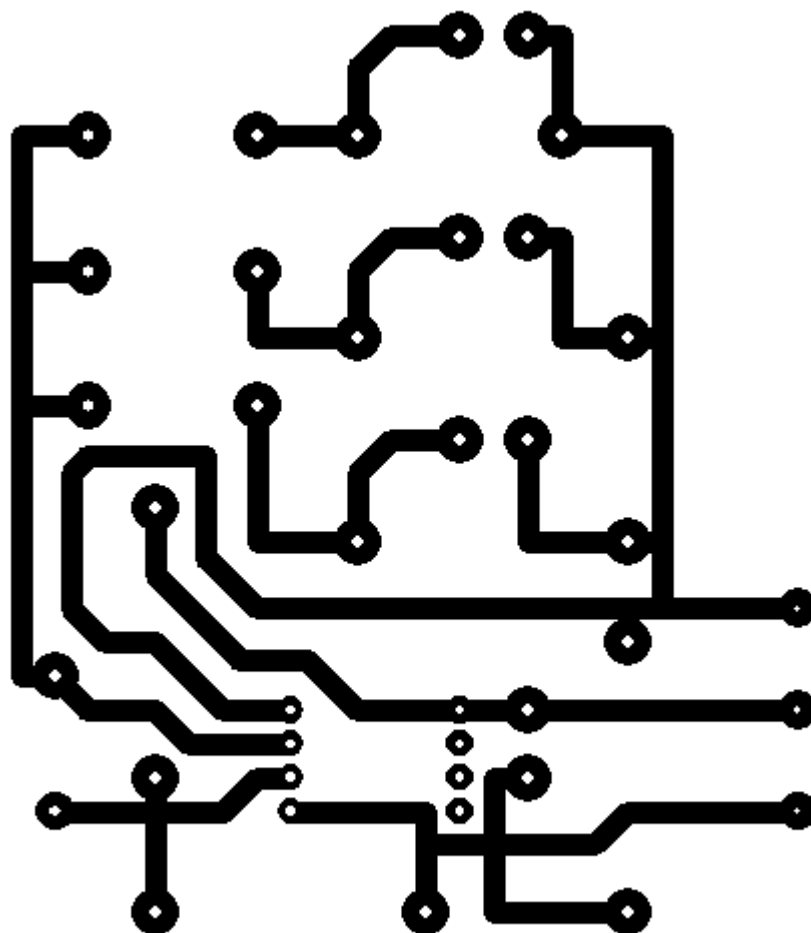


Рис. 3.14 Креслення друкованої плати

Програма Sprint-Layout містить інструменти для малювання друкованих провідників, многогранників, написів і т.д.; лупу для вибору зручного масштабу перегляду креслення, а також має бібліотеку компонентів макросів (рисунок 3.15).

Розробку креслення друкованої плати починаємо з нанесення координатної сітки. За основний крок координатної сітки приймається 2,54 мм.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

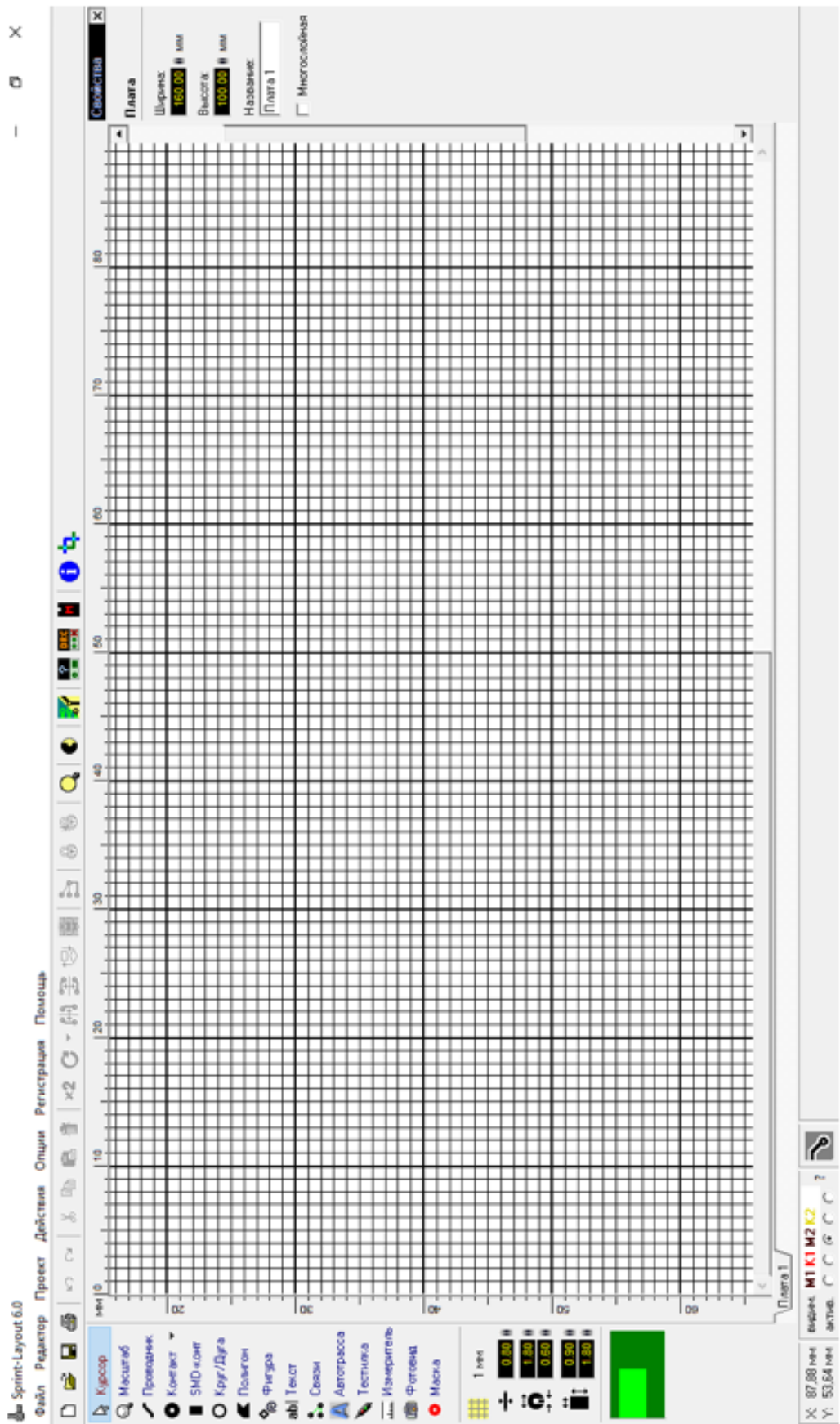


Рисунок 3.15 Видяг головного вікна програмного забезпечення Sprint-Layout



Креслення друкованої плати – містить всі відомості, необхідні для її виготовлення і контролю: зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу; розміри, граничні відхилення всіх її елементів (отворів, провідників), а також розміри відстаней між ними; необхідні технічні вимоги, відомості про матеріал.

Після створення схеми електричної принципової, переліку елементів та креслення друкованої плати є можливість вивести документи на друк. Для цього в програмах Splan та Sprint–Layout передбачені всі необхідні налаштування, такі як:

- попередній перегляд;
- вибір формату листа для друку;
- зміна масштабу;
- орієнтація листа;
- та інші.

Після завершення розробки конструкторсько-технічної документації виконується технологічний процес виготовлення плати. Цей процес включає в себе виготовлення плати, компоновку, пайку елементів, та по завершенню, безпосередньо налаштування і перевірку роботи стенду.

Процес виготовлення плати не є складним, так як включає в себе стандартну технологію. На початку на підготовану пластину фольгованого стеклотекстоліту (можна також використовувати фольгований гетинакс) наноситься малюнок креслення друкованої плати. Це можна виконати як шляхом теплового перенесення креслення надрукованого на спеціальному глянцевого папері за допомогою лазерного принтера, так і дорогим методом – за допомогою використання фоторезисту. Після того як на мідну фольгу нанесено малюнок доріжок, виконується травлення плати. Для травлення плати можна застосовувати різні методи на різні (спеціальні) травники. Дана плата була витравлена за допомогою агресивного кислотного середовища (розчин

хлорного заліза). Також на даному етапі виготовлення можуть застосовуватися фрезерні станки, електро-хімічний метод, та ін [20].

Після повного стравлення непокритих тонером ділянок плати (так званого – формування провідних доріжок) плата промивається та сушиться. За тим йде процес лудіння. Лудіння теж може здійснюватися декількома методами. Найдоцільніше використовувати сплав Розе або сплав Вуда, але сплав Вуда володіє високою токсичністю.

Сплав Розе олов'яно-свинцево-вісмутовий сплав який має високу адгезію та низьку температуру плавлення, що забезпечує покриття доріжок тонким шаром сплаву при відносно не високих температурах (80-100 °C).

Процес свердління отворів для монтажу компонентів зазвичай виконується після процесу лудіння, але також може виконуватися безпосередньо перед лудінням, так як це не дуже впливає на якість готового виробу. При свердлінні отворів, розмір свердла обирається відповідно до розміру ніжок елемента що буде поміщений в отвір.

Компоновка схеми підсилення сигналу відбувається виключно в повній відповідності схемі електричній принципів.

### **3.6 Розробка структурної блок-схеми дозиметра енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання**

Після розробки схеми підсилювача, була розроблена структурна блок-схема дозиметра енергетичної освітленості УФ випромінювання. Структурна блок-схема зображена на рис.3.16.

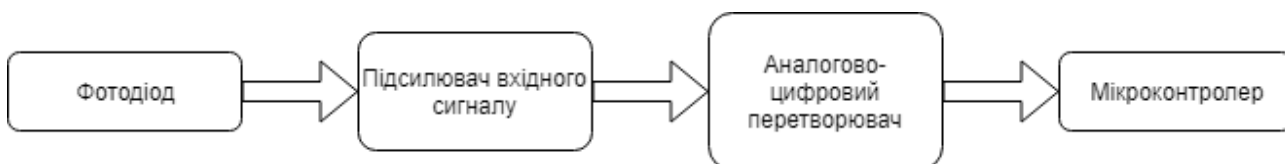


Рис.3.16 Структурна блок-схема дозиметра енергетичної освітленості УФ випромінювання

Таблиця 3.2 - Функціональні елементи блоку

Назва	Призначення
Фотодіод	Приймач оптичного випромінення, який перетворює попавший на його фоточутливу область світло в електричний заряд за рахунок процесів в р-п переходів.
Підсилювач вхідного сигналу	Пристрій, призначений для посилення потужності електричного сигналу без спотворення його форми і частоти.
Аналогово-цифровий перетворювач	Пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал), який кількісно характеризує амплітуду вхідного сигналу.
Мікроконтролер	Автономна система з периферійними пристроями, пам'яттю і процесором, яку можна використовувати в якості вбудованої системи для використання в автоматично контрольованих пристроях для виконання попередньо визначених і заздалегідь запрограмованих завдань.

Робота дозиметра енергетичної освітленості для вимірювання УФ забезпечується такими блоками: фотодіод, підсилювач вхідного сигналу , аналогово-цифровий перетворювач , мікроконтролер.

В якості підсилювача вхідного сигналу буде використаний подвійний операційний підсилювач AD45048.

Основі характеристики операційного підсилювача було взято зі сайту Analog Devices [21].

Особливості операційного підсилювача (ОП) AD45048 :

- Подвійний операційний підсилювач

- Постійна напруга
- Широкий діапазон подачі: від 3,3 V до 24 V
- Вихідний сигнал, рівний напрузі живлення
- Вихідний поворот в межах 0,5 V з напрямним живленням @ 230 mA
- 23 V<sub>p-p</sub> диференціальний, R<sub>LOAD</sub> 50 Ω від 12 V живлення
- Високий вихідний струм
- Лінійний вихідний струм максимуму 230 mA в 25 Ω
- Низький рівень шуму
- 4.5 nV / √Hz щільність шуму напруги @ 100 kHz
- 1,5 pA / √Hz щільність струму шуму @ 100 kHz
- Висока швидкість
- Ширина смуги частот 65 MHz (A<sub>V</sub> = 1, -3 дБ)
- Швидкість наростання 55 V/μs (R<sub>LOAD</sub> = 25 Ω)

### Загальний опис ОП AD45048

Драйвер лінії ADSL AD45048 є подвійним операційним підсилювач, здатний керувати високим вихідним струмом (230 mA); це має вихідний каскад рівний напрузі живлення, який коливається в межах 0,5 V. Вихідний каскад AD45048 рівний напрузі живлення перевершує здатність вихідної напруги типових емітерних послідовних вихідних каскадів і може досягати до 23 V<sub>p-p</sub> диференційно від однієї 12 V живлення в лінії ADSL CPE застосування. Низькі спотворення, високий вихідний струм і динамічний діапазон широкого виходу робить AD45048 ідеальним для керування вхідними сигналами в додатках ADSL CPE. Виготовлений на високошвидкісному XFCB-HV (eXtra Fast) додатковий біполярно-високовольтний процес, високий смуга пропускання і

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

швидка швидкість наростання AD45048 зберігають спотворення мінімальний час розсіювання мінімальної потужності. AD45048 є доступний у стандартному пакеті SOIC (Small-Outline Integrated Circuit) – інтегральна схема малого типу, який може працювати від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  [23].

Pin-конфігурація

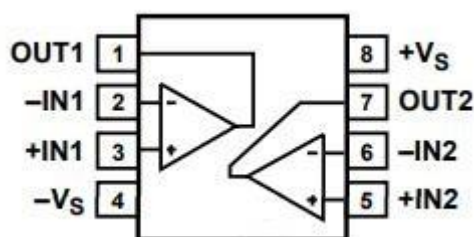


Рисунок 3.17 ведучий SOIC

Для вибору АЦП був проведений аналіз найбільш розповсюджених АЦП, та обраний 1 екземпляр який буде задовольняти вимоги :

- розрядність;
- швидкість перетворення
- 

Таблиця 3.3 - Найбільш розповсюдженні АЦП

Тип м/схеми	Число розрядів	$t_{пр}$ , мкс	$U_{пит}$ , В	$U_{потр}$ , В	Перетворення
K1107ПВ1	6	0,1	+5 -6	800	Паралельне
K1107ПВ1	8	0,1	+5 -6	3000	Паралельне
KP572ПВ1А	12	110	5÷15 -15	30	Послідовне
K572ПВ3	8	15	$\pm 5$	25	Послідовне
K572ПВ4	8	32	$\pm 5$	15	Послідовне
K1108ПВ1А	10	0,75	+9 -5,2	800	Послідовне
K1138ПВ1А	10	30	+5 -15	225	Послідовне

Основні характеристики АЦП К1108ПВ1А було взято із сайту «компания БэтКом радиоэлектронные компоненты» [22]. Був обраний К1108ПВ1А АЦП, особливостями якого є:

- Функціонально – повний АЦП ;
- Кількість розрядів – 10;
- Час перетворення (макс.) 0,75 мкс ;
- Відсутність пропущених кодів ;
- Цифрове мультиплексування : тристабільні виходи ;
- Два джерела живлення:  $U_{CC1}=+5V\pm5\%$  и  $U_{CC2}=-5,2V\pm5\%$

#### Загальний опис АЦП К1108ПВ1А

10 розрядний АЦП послідовного наближення, що сполучається з мікропроцесором (в даному випадку електронний стенд на основі мікроконтролера для налагодження програм на основі ATmega16A). Для експлуатації АЦП необхідні тільки два джерела живлення і регульовальні резистори. АЦП забезпечує перетворення вхідного однополярного або біполярного аналогового сигналу в вихідний паралельний двійковий код і призначений для застосування в електронній апаратурі широкого застосування (в даному випадку пристрій для вимірювання УФ).

Мікросхема містить :

- Цифро-аналоговий перетворювач(АЦП) з струмовим виходом;
- Вбудоване джерело опорної напруги(ДОН);
- Компаратор напруги(КН);
- Генератор тактових імпульсів(ГТВ);
- Регістр послідовного наближення(РПП);
- Вихідний буферний регістр з трьома станами і схемою управління(ВБУ).

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні каскади з трьома станами дозволяють виводити результат перетворення безпосередньо на шину даних мікропроцесора і за рівнями вхідних і вихідних логічних сигналів сполучаються з цифровими ТТЛ-схемами.[24]

Примітка:

1. ВБУ – вихідний буферний пристрій с виходом на три стани;
2. ГД – схема формування готовності даних
3.  $R^* - 4 \div 7 \text{кОм}$

Структурна схема зображена на рис.3.18.

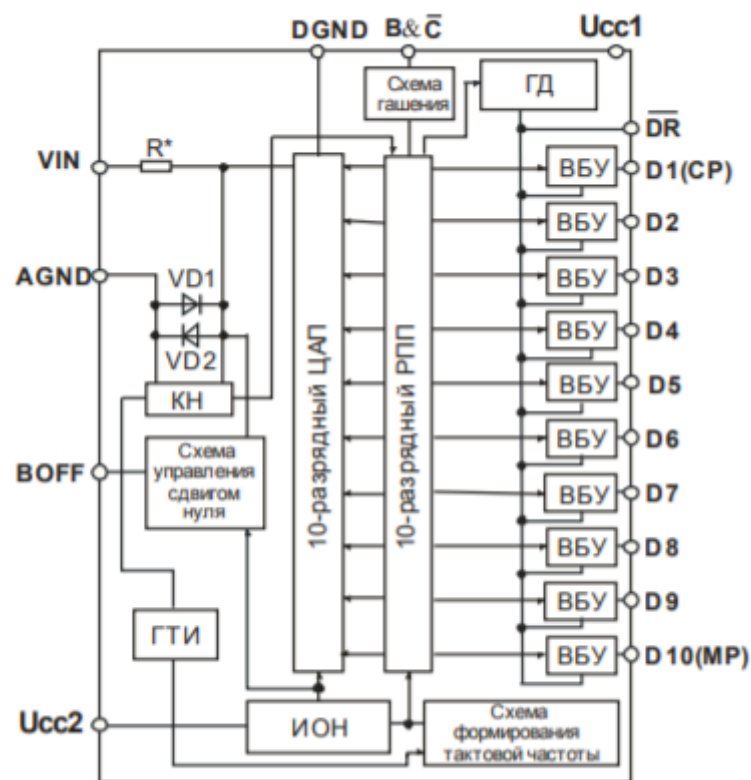


Рисунок 3.18 Структурна схема АЦП К1108ПВ1А

В якості мікроконтролера буде використаний „Електронний стенд на основі мікроконтролера для налагодження програм на основі ATmega32A„-дипломний проект Є. В. Аршана.

### Висновки до розділу 3

У даному розділі описано розробку схеми підсилювача для пристрою вимірювання ультрафіолетового випромінювання.

Описаний процес виготовлення напівпровідникових плівок A2B6, а саме хімічної сполуки CdS, яка є основою датчика ультрафіолетового випромінювання. Створено технічне завдання на дослідно-конструкторську розробку пристрою для вимірювання ультрафіолетового випромінювання. Приведений приклад схеми класичної, та аналогу схеми підсилювача. Розроблено нову схему підсилювача та проведено оптимізацію, розраховано номінали елементів схеми ( резисторів та транзисторів ), проаналізовано типи операційних підсилювачів та аналогово-цифрових перетворювачів, обрані найкращі з них. У програмному середовищі Splan накреслено електрично-принципову схему підсилювача на основі розрахованих номіналів. Розроблено друковану плату на основі принципової схеми у програмному середовищі Sprint Layout. Описано методи отримання друкованої плати.

Розроблено структурну блок-схему дозиметра енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання, який можна спроектувати та виготовити на основі розробленого пристрою для вимірювання УФ випромінювання та обраних ОП та АЦП.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВКИ

Для досягнення мети дипломної роботи виконані такі задачі:

1. Проаналізовано існуючі датчики ультрафіолетового випромінювання на різних матеріалах : на основі кремнію (Si), фосфіду галію (GaP), селеніду цинку (ZnSe) та сульфїду кадмію (CdS).

2. Проаналізовано сучасні пристрої для вимірювання ультрафіолетового випромінювання, визначено їхні недоліки, а саме: виготовлення відсутнє в Україні, що і приводить до великої вартості елемента, використання світлофільтрів, що ускладнює процес виготовлення. Аргументовано необхідність у створенні нового пристрою для вимірювання УФ випромінювання. Проведено аналіз програмних середовищ, які використовувались для розробки, проектування пристрою для вимірювання УФ випромінювання.

3. Проаналізовано всі елементи схеми для дозиметра енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання, що дозволяє створити дозиметр на основі розробленого пристрою для вимірювання УФ випромінювання та проаналізованих елементів схеми : фотодіод , операційний підсилювач , аналогово-цифровий перетворювач та мікроконтролер на основі ATmega32A.

4. Розроблено технічне завдання на дослідно-конструкторську розробку пристрою для вимірювання УФ випромінювання. Згідно технічного завдання розроблено принципову схему пристрою в програмному середовищі Splan. У програмному середовищі Sprint-Layout 6.0 на основі принципової схеми розроблено друковану плату. Описано методи отримання друкованої плати.

					БР.171.061.002 ПЗ	Лист
						65
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Иванов В.С. Основы оптической радиометрии / В.С. Иванов, Ю.М. Золотаревский, А.Ф. Катюк – М.: Изд.«Физматлит»,2003. – 544с.
2. Добровольський Ю.Г. Первинні перетворювачі для вимірювання енергетичних характеристик оптичного випромінювання / Чернівці: Вид-во „Науково-виробнича фірма «Тензор», 2015. – 373с.
3. І.В. Докторович, І.М. Фодчук, В.К. Бутенко, В.М. Годованок, В.Г. Юр'єв, В.Г. Житарюк / Спектральний розподіл потужності випромінювання ртутних ламп / Чернівці: „Науковий вісник Чернівецького університету”, 2007. Випуск 344.
4. Перевертайло В.Л. Характеристики і технологія виготовлення кремнієвих планарних р-і-п фотодіодів для сцинтиелектронних детекторів Електроника и связь. Тем. выпуск "Проблемы электроники", Часть 1, 2007. – с.15-23
5. Ю.Г. Добровольський Фотодиод на основе GaP с повышенной чувствительностью в коротковолновой области УФ-спектра / Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2012 . – №5.
6. Dobrovolskiy Yu.G., Perevertaylo V.L., Shabashceвич B.G., Pidkamin L.J. Clarifying coverages on the basis of tapes SnO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for photodiodes of ultraviolet and visible range // SPIE Proc.-2009.-Vol.7388.-P.63-69
7. Биксей М.П., Добровольський Ю.Г., Шабашкевич Б.Г. Фотоприемник ультрафиолетового излучения на основе фосфида галлия // Прикладная физика. – 2005. - №4. – С.97-100
8. Фотодиод ультрафиолетового диапазона на основе селенида цинка / В.Л. Перевертайло, Ю.Г. Добровольский, В.М. Попов, А.П. Поканевич, В.М.

Мацкевич, В.Д. Рыжиков, Б.Г. Шабашкевич, В.Г. Юрьев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2010. — № 2. — С. 17-21.

9. Перевертайло В.Л., Попов В.М., Поканевич А.П. и др. Влияние технологических обработок на электрофизические и фотоэлектрические характеристики диода Шоттки на ZnSe // Тр. IX МНПК «Современные информационные и электронные технологии».- Украина, Одесса.-2008.-Ч.2.- С.133

10. В.А. Гуртов. Твердотельная электроника: Учеб. пособие (Техносфера, 2008) [ISBN: 978-5-94836-187-1].

11. А.Н. Георгобиани, М. К. Шейкман. Физика соединений  $A^{II}B^{IV}$  (Наука, 1986).

12. Г.П. Пека, В.Ф. Коваленко, А.Н. Смоляр. Варизонные полупроводники (Высш. шк., 1989).

13. A.G. Milnes, D.L. Feucht. Heterojunctions and Metal Semiconductor Junctions (Academic Press, 1972).

14. Yu.N. Bobrenko, S.Yu. Pavelets, A.M. Pavelets. Effective photoelectric converters of ultraviolet radiation with graded-gap ZnS-based layers. Semiconductors 43, 801 (2009).

15. Yu.N. Bobrenko, S.Yu. Pavelets, A.M. Pavelets, N.V. Yaroshenko. Photoelectric converters with graded-gap layers based on ZnSe. Semiconductors 47, 1372 (2013).

16. O.N. Tufle, E.L. Stelzer. Growth and properties of  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  epitaxial layers. J. Appl. Phys. 40, 4559 (1969).

17. S. Adachi. Properties of Group-IV, III–V and II–VI Semiconductors (John Wiley and Sons, 2005).

18. С.Ю. Павелець, Ю.М. Бобренко, Т.В. Семікіна, Б.С. Атдаев, Г.Г. Шереметова, М.В. Ярошенко, Сенсори ультрафіолетового випромінювання на основі твердих розчинів  $Zn_xCd_{1-x}S$

19. Sprint-Layout [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[http://cxem.net/software/sprint\\_layout.php](http://cxem.net/software/sprint_layout.php)

20. Методы изготовления печатных плат [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pcbdesigner.ru/pcb/sposobi-izgotovleniya-pechatnih-plat/metody-izgotovleniya-pechatnyx-plat.html> //

21. Операційний підсилювач AD45048 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.analog.com/ru/search.html?q=AD45048>

22. Аналогово-цифровий перетворювач К1108ПВ1А [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/1108pv1.pdf>

[illegible]

Зона	Поз.	Позначення			Найменування		Кіл.	Прим.
					<u>Деталі</u>			
	1	ДП.171.061.009.02 Е4			Друкована плата		1	
	2	UVD			Фотодіод ФПД-1		1	
					Конденсатори			
	3	C1			СТ4 0.47uF ±10% 50V ОЖО 464.111 ТУ		1	
	4	C2			СТ4 1uF ±10% 50V ОЖО 464.111 ТУ		1	
	5	C3			СТ4 4uF ±10% 50V ОЖО 464.111 ТУ		1	
	6	C4			СТ4 40uF ±10% 50V ОЖО 464.111 ТУ		1	
	7	OP1			Операційний підсилювач AD45048		1	
					<u>Резистори</u>			R1-R7
	8				10K 0.125W CFR 5% ОЖО 467.104 ТУ		1	R1
	9				2.5K 0.125W CFR 5% ОЖО 467.104 ТУ		3	R2-R4
					<i>БР.171.061.002 ПЕ</i>			
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бондаренко Р.І.				Дозиметри енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання. Специфікація	Літ.	Арк уш	Аркушів
Перевір.	Семікінів Т.В						1	2
						«КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-п61		
Н.контр	Чадюк В.О							
Затверд.	Писаренко Л.Д.							

<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	Позначення			Найменування	<i>Кіл.</i>	<i>Прим.</i>
	10				25K 0.125W CFR 5% ОЖО 467.104 ТУ	1	R5
	11				250K 0.125W CFR 5% ОЖО 467.104 ТУ	1	R6
	12				Кнопка НН1208-2.5 (PBS-128) з фіксацією	2	S1-S3
					Матеріали		
	13				Припій ПОС-61 ГОСТ 1981-76	2г	
	14				Каніфоль спиртова (розчин 40%)	5 мл	
					<i>БР.171.061.002 ПЕ</i>		2
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			

## **ДОДАТОК А**

Схема електрична принципова пристрою  
для вимірювання ультрафіолетового випромінювання



## **ДОДАТОК Б**

Специфікація пристрою для вимірювання  
ультрафіолетового випромінювання

## **ДОДАТОК В**

Креслення друкованої плати пристрою для вимірювання  
ультрафіолетового випромінювання

